

Lapsuuden verbaalisen ja visuaalisen lyhytkestoisen muistin yhteys aikuisuuden työmuistisuoriutumiseen ja yleiseen kognitiiviseen kapasiteettiin

Karoliina Diana Reijonen

Pro gradu- tutkielma

Psykologia

Lääketieteellinen tiedekunta

Syyskuu 2019

Ohjaaja: Laura Hokkanen

Tutkimusprojekti: Kognition pitkäaikaistutkimus



Tiedekunta / Fakultet – Faculty Lääketieteellinen tiedekunta / Psykologian ja logopedian osasto		Laitos / Institution – Department
Tekijä / Författare – Author Karoliina Diana Reijonen		
Työn nimi / Arbetets titel – Title Lapsuuden verbaalisen ja visuaalisen lyhytkestoisen muistin yhteys aikuisuuden työmuistisuoriutumiseen ja yleiseen kognitiiviseen kapasiteettiin		
Oppiaine / Läroämne – Subject Psykologia		
Työn laji / Arbetets art – Level Pro gradu	Aika / Datum – Month and year 09/2019	Sivumäärä / Sidoantal – Number of pages 46
Tiivistelmä – Abstrakt – Abstract <p>Tavoitteet. Tässä tutkimuksessa oli tavoitteena tutkia, miten 5- ja 9- vuotiaiden lasten lyhytkestoisen muistin toimintaa mittaavat testien tulokset ovat yhteydessä aikuisena 40- vuotiaiden työmuistisuoriutumiseen sekä visuaaliseen ja verbaaliseen päättelykykyyn. Tutkimuskysymykset olivat: 1) Miten lapsuuden auditiivisen ja visuaalisen sarjamuistin tehtävissä suoriutuminen on yhteydessä aikuisuuden auditiivisverbaaliseen työmuistisuoriutumiseen? 2) Miten lapsuuden auditiivisen ja visuaalisen sarjamuistin tehtävissä suoriutuminen on yhteydessä työmuistisuoriutumiseen, jossa informaatiota manipuloidaan? 3) Miten lapsuuden auditiivisen ja visuaalisen sarjamuistin tehtävissä suoriutuminen on yhteydessä aikuisuuden kielelliseen ja visuaaliseen päättelykykyyn?</p> <p>Menetelmät. Tutkimusaineistona oli Kognition pitkäaikaistutkimus (KOPUTUS), jossa oli vuosina 1971-1974 syntyneitä syntymäriskiryhmiin kuuluvia lapsia sekä kontrolliryhmä. Tähän tutkimukseen otettiin mukaan 5-, 9-, ja 40- vuotiaiden tutkimustulokset (N=301). Lapsuudessa tutkittavat suorittivat lasten kommunikaatiota ja kielellisiä kykyjä mittaavan The Illinois Test of Psycholinguistic Abilities (ITPA)-testin. Muuttujiksi valittiin lyhytkestoista muistia mittaavat testit: visuaalinen sarjamuisti ja auditiivinen sarjamuisti. Aikuisuudessa tutkittavat suorittivat WAIS- IV:n, josta muuttujiksi valittiin työmuistia mittaava perusosatehtävä Numerosarjat sekä kielellisen ja visuaalisen päättelyn indeksit (VCI ja PRI). Taustamuuttujiksi tutkimukseen otettiin tutkittavien oma korkein koulutus, äidin korkein koulutus ja turvapisteet 9- vuotiaana. Tutkimustulokset analysoitiin rakenneyhtälömallien avulla.</p> <p>Tulokset ja johtopäätökset. Tulokset osoittivat, että 5- vuoden ikäisten ja 9- vuoden ikäisten auditiivisen lyhytkestoisen muistin suoriutumiset erikseen ennustivat aikuisuuden työmuistisuoriutumista. Lisäksi 9- vuoden ikäisten auditiivisella lyhytkestoisella muistilla voitiin ennustaa myös monimutkaisempaa työmuistin toimintaa. Visuaalisella lyhytkestoisella muistilla lapsuudessa taas voitiin ennustaa visuaalista päättelykykyä aikuisena. Tuloksista voidaan päätellä, että lasten lyhytkestoisen muistin tutkiminen on tärkeää, koska sillä voidaan ennustaa aikuisuuden työmuistin toimintaa ja visuaalisen tiedon käsittelyä sekä mahdollisia heikentymiä näissä varhain.</p>		
Avainsanat – Nyckelord – Keywords lyhytkestoinen muisti, työmuisti, visuaalinen päättelykyky, verbaalinen päättelykyky, pitkittäistutkimus		
Säilytyspaikka – Förvaringsställe – Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet) <i>ethesis.helsinki.fi</i>		



HELSINGIN YLIOPISTO  
HELSINGFORS UNIVERSITET  
UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta / Fakultet – Faculty Faculty of Medicine / Department of Psychology and Logopedics		Laitos / Institution – Department
Tekijä / Författare – Author Karoliina Diana Reijonen		
Työn nimi / Arbetets titel – Title The association between childhood’s verbal and visual short-term memory and working memory performance and cognitive capacity in adulthood		
Oppiaine / Läroämne – Subject Psychology		
Työn laji / Arbetets art – Level Master’s thesis	Aika / Datum – Month and year 09/2019	Sivumäärä / Sidoantal – Number of pages 46
Tiivistelmä / Abstrakt – Abstract <p>Aims of the study. The aim of this study was to examine how 5- and 9-year old’s results on auditive and visual short-term memory tests are related to 40-year old’s working memory and visual and verbal reasoning. The study questions were: 1) How childhood’s performance on short term memory tasks is associated with adults working memory? 2) How childhood’s performance on short term memory tasks is associated with complex working memory? 3) How childhood’s performance on short term memory tasks is associated with verbal and visual reasoning in adulthood?</p> <p>Methods. The study was part of Finnish longitudinal study (KOPUTUS) in which Finnish birth cohort 1971-1974 were followed for 40 years. The study included birth risk-group and a control group of normally born individuals Results from 5-, 9-, and 40-year-olds were examined (n=301). Children’s abilities were estimated with The Illinois Test of Psycholinguistic Abilities (ITPA)- test. This study included short term memory tests which were auditive and visual serial memory tasks. Adulthood working memory and reasoning abilities were measured with WAIS-IV. Working memory performance was estimated with Digit span and reasoning abilities with Verbal comprehension index ja Perceptual reasoning index. Data-analysis was conducted with structural equation modeling and education at 40-years-old, mother’s highest education and psychosocial scores at 9-years-old were controlled.</p> <p>Results and conclusions. Results showed that auditive short-term memory in children predicted performance on working memory in adulthood. Additionally, auditive short-term memory in 9-year-olds predicted more complex working memory performance in adulthood. Visual short-term memory in childhood predicted performance on visual reasoning in adulthood. In conclusion, it is important to investigate children’s short-term memory because it predicts working memory and visual processing performance in adulthood. It also makes possible to detect defects in these cognitive functions early.</p>		
Avainsanat / Nyckelord – Keywords short-term memory, working memory, verbal reasoning, visual reasoning, longitudinal study		
Säilytyspaikka / Förvaringsställe – Where deposited Helsingin yliopiston kirjasto – Helda / E-thesis (opinnäytteet)		<i>ethesis.helsinki.fi</i>

## Sisällysluettelo

1 JOHDANTO.....	1
1.1 Työmuisti .....	1
1.1.1 Työmuistin rakenne ja toiminta.....	2
1.1.2 Työmuistin merkitys kognitiivisessa suoriutumisessa .....	4
1.2 TYÖMUISTIN KEHITYS LAPSUUDESTA AIKUISUUTEEN .....	5
1.2.1 Lasten työmuistin rakenteen kehitys.....	5
1.2.2 Työmuistin määrällinen kehitys.....	7
1.3 TYÖMUISTIN YHTEYS ÄLYKKYYTEEN JA KOGNITIIVISEEN SUORIUTUMISEEN.....	8
1.3.1 Älykkyyden rakenne aikuisilla .....	8
1.3.2 Työmuistin yhteys yleiseen älykkyyteen lapsilla ja aikuisilla .....	9
1.3.3 Joustavan älykkyyden ja työmuistin yhteys lapsilla .....	10
1.4 TUTKIMUSKYSYMYKSET.....	13
2 MENETELMÄT .....	14
2.1 AINEISTO.....	14
2.2 TUTKIMUSMENETELMÄT .....	16
2.3 TILASTOLLISET ANALYYSIT.....	19
3 TULOKSET .....	20
4 POHDINTA .....	24
4.1 LAPSUUDEN LYHYTKESTOISEN MUISTIN YHTEYS AIKUISUUDEN TYÖMUISTISUORIUTUMISEEN .....	25
4.2 LAPSUUDEN LYHYTKESTOISEN MUISTIN YHTEYS AIKUISUUDEN VERBAALISEEN JA VISUAALISEEN PÄÄTTELYKYKYYN.....	26
4.3 TUTKIMUKSEN VAHVUUDET, RAJOITTEET JA JATKOTUTKIMUSEHDOTUKSET .....	29
4.4 YHTEENVETO.....	30
LÄHTEET.....	31

# 1 Johdanto

Muisti on keskeinen ominaisuus ihmisten kognitiivisissa toiminnoissa. Se rakentuu useasta eri osajärjestelmästä, jotka toimivat yhteistyössä ja samanaikaisesti. Muistia luokitellaan ajan ja tietoisuuden asteen perusteella (Kallio, Hokkanen, Hietanen & Hänninen, 2018). Ajan mukaan luokiteltaessa muisti voidaan jakaa lyhytkestoiseen ja pitkäkestoiseen muistiin. Pitkäkestoinen muisti luokitellaan tietomuistiin ja taitomuistiin (*deklaratiivinen ja non-deklaratiivinen*), joista edellinen viittaa tietoiseen asia- ja tapahtumamuistiin ja jälkimmäinen tietoisuuden ulkopuolelle jäävään muistin osajärjestelmään esimerkiksi motoristen taitojen oppimiseen. Lyhytkestoiseen muistiin taas luokitellaan sensorinen muisti sekä työmuisti (Kallio, ym. 2018). Sensorinen muisti toimii eri aistipiirien kautta, joissa aisteista tulevaa tietoa säilytetään muutaman sekunnin ajan. Työmuistissa ylläpidetään informaatiota aktiivisesti mielessä, jolla mahdollistetaan erilaisten kognitiivisten tehtävien suorittaminen (Cowan, 2010). Lisäksi työmuistin kautta voidaan yhdistää informaatio pitkäkestoisessa muistissa olevaan tietoon (Kallio, ym. 2018).

Tässä tutkimuksessa selvitetään, miten lapsuuden auditiivisen ja visuaalisen lyhytkestoisen muistin tehtävissä suoriutuminen on yhteydessä aikuisuuden työmuistisuoriutumiseen. Tutkimuksessa myös selvitetään, voidaanko lapsuuden lyhytkestoisen muistin tehtävissä suoriutumisella ennustaa aikuisuuden työmuistitoimintaa, johon kuuluu informaation manipulaatiota edellyttävä toiminta. Lopuksi halutaan tutkia, miten lapsuuden lyhytkestoisen muistin tehtävissä suoriutuminen on yhteydessä aikuisuuden visuaaliseen ja verbaaliseen päättelykykyyn.

## 1.1 Työmuisti

Työmuistilla viitataan muistin järjestelmään tai järjestelmiin, jotka ovat oleellisia asioiden ylläpitämisessä mielessä suoritettaessa monimutkaisia kognitiivisia tehtäviä kuten päättelyä, oppimista ja ymmärtämistä (Baddeley, 2010). Työmuistin kapasiteettia mitataan usein yksinkertaisilla sarjatehtävillä, joissa etenevissä määrin pidempiä informaation sarjoja tulee toistaa ja informaatiota manipuloidaan mielessä sekä esitetään se tämän jälkeen esimerkiksi takaperin (Friso-van den Bos, van der Ven, Kroesbergen & van Luit, 2013). Työmuistin käsite kehittyi alun perin lyhytkestoisesta muistista, jolla viitataan väliaikaiseen varastoon visuospatiaaliselle ja

verbaaliselle informaatiolle (Baddeley, 2010). Työmuistin toimintoihin kuuluvat kuitenkin myös tiedon lyhytaikainen varastointi sekä informaation käsittelyyn liittyvät toiminnot (Schneider, 2015). Työmuistiin nähdäänkin sisältyvän myös lyhytkestoinen muisti, jossa tietoa varastoidaan lyhyen ajan sisällä sekä komponentin, joka varsinaisesti prosessoi tietoa (Engel de Abreu, Conway & Gathercole, 2010; Engle & Kane, 2004). Tämä tarkoittaa sitä, että työmuistissa pystytään muuntamaan ja manipuloimaan tietoa, jota säilytetään lyhytkestoisessa muistissa. Työmuistia ja lyhytkestoista muistia voidaan tutkia erillisinä, sillä verbaalisen ja visuospatiaalisen lyhytkestoisen muistin tehtävissä tietoa vain säilötään, kun taas verbaalisen ja visuospatiaalisen työmuistin tehtävissä on samanaikaista prosessointia ja tiedon varastointia (Alloway, Gathercole & Pickering, 2006).

### **1.1.1 Työmuistin rakenne ja toiminta**

Työmuistin rakenteesta ja toiminnasta on esitetty useampia teoreettisia malleja. Atkinsonin ja Shiffrinin (1968) työmuistimallissa lyhytkestoinen muisti itsessään toimii työmuistina kontrolloiden informaation virtaa pitkäkestoiseen muistiin sisään ja ulos. Työmuistimallin mukaan muisti jakautuu kahteen pääasialliseen dimensioon, joissa ensimmäisessä erotellaan pysyvät rakenteelliset ominaisuudet kontrolliprosesseista ja niitä voidaan muokata ja uudelleen ohjelmoida yksilön tahdon mukaan. Toinen dimensio jakautuu kolmeen komponenttiin: sensorinen rekisteri, lyhytaikainen varasto ja pitkäaikainen varasto. Sensorinen tieto saapuu ensimmäisenä muistin sensoriseen rekisteriin, jossa se säilyy lyhyen aikaa ja sitten häviää. Lyhytkestoinen varasto taas vastaanottaa valitut ärsykkeet sensorisesta rekisteristä sekä pitkäkestoisesta muistista.

Baddeleyn ja Hitchin (1974) kehittämässä alkuperäisessä työmuistin mallissa on kolme toiminnallista komponenttia: keskusyksikkö (*central executive*), fonologinen silmukka (*phonological loop*) sekä visuospatiaalinen lehtiö (*visospatial sketchpad*). Keskusyksikkö koordinoi informaatiota, jota varastoidaan fonologisessa silmukassa ja visuospatiaalisessa lehtiössä (Friso-van den Bos, ym., 2013). Lisäksi se on vastuussa resurssien kontrolloimisesta ja informaation prosessoinnin monitoroinnista (Baddeley ja Hitch, 1974) sekä säätelytoiminnoista kuten tiedon palauttamisesta pitkäkestoisesta muistista ja tarkkaavuuden kontrolloinnista (Friso-van den Bos, ym., 2013). Fonologiseen silmukkaan rekisteröityvät verbaaliset muistijäljet, jotka häviävät

spontaanisti kahden sekunnin kuluttua. Muistijälkiä voidaan päivittää reaaliaikaisesti verbaalisesti tai mentaalisesti. Visuospatiaalinen lehtiö taas käsittelee avaruudellista tietoa sekä esimerkiksi tietoa objektien ominaisuuksista. On myös esitetty, että työmuisti sisältää neljännen komponentin, episodisen puskurin (*episodic buffer*), joka pystyy moniulotteiseen tiedon prosessoimiseen sekä mahdollistaa kokonaisvaltaisten tapahtumien luomisen muistiin yhdistämällä informaatiota (Baddeley, 2000). Baddeleyn mallin taustalla on laaja teoreettinen viitekehys ja sitä on sovellettu psykologian perustutkimuksessa, soveltavassa tutkimuksessa sekä neurotieteissä yleisemmin (Baddeley, 2010).

Cowanin (1988, 2005) työmuistimallin oletuksena on, että kaikki ulkoa päin tuleva stimulaatio aktivoi informaation prosessointia sekä pitkäkestoisen muistin osia. Aktivoituneessa pitkäkestoisen muistin osassa on pienempi osio tarkkaavuuden kohteena. Pitkäkestoisen muistin aktivoitunut osa pysyy aktiivisena siihen asti, kun informaatiota kerrataan tai tarkkaavuus pidetään aktiivisena kohteessa. Malli ottaa huomioon informaation määrän, joka voidaan kerralla käsitellä. Esimerkiksi tarkkaavuuden kohteena olevaan tietoon sisältyy kerrallaan kolmesta viiteen merkityksellistä informaation osasta. Aktivoituneen pitkäkestoisen muistin osan ajatelleen toimivan lyhytkestoisen muistina, kun taas tarkkaavuuden kohteen työmuistina (Engle, Tuholski, Laughlin & Conway, 1999). Cowanin malli ei erottele visuospatiaalisen ja verbaalisen informaation erillistä käsittelyä (Schneider, 2015).

Shah:n ja Miyaken (1996) esittämässä työmuistimallissa työmuistin kapasiteetti jakautuu kahteen erilliseen verbaalisen ja visuospatiaalisen tiedon resurssiin. Resurssit kykenevät itsenäisesti ja erillisinä muokkaamaan ja ylläpitämään tietoa aktiivisena sekä käsittelemään monimutkaista informaation prosessointia. Työmuistimallissa ei suljeta pois alempien muistijärjestelmien olemassaoloa, mutta ne nähdään enemmän passiivisina ja väliaikaisina tietovarastoina. Sekä aikuisilla että lapsilla visuospatiaalisen ja verbaalisen tiedon nähdään olevan eriytynyttä (Jarvis & Gathercole, 2003; Miyake, Friedman, Rettinger, Shah & Hegarty, 2001).

Kokonaisuudessaan työmuistimalleissa esitetään, että työmuistin toiminta edellyttää informaation varastoinnin lisäksi myös informaation käsittelyä ja muokkaamista. Lisäksi yhteistä eri malleille on rajoittunut määrä informaatiota, jota kerrallaan työmuistissa voidaan käsitellä. Eroavaisuuksia työmuistimalleissa on eri alajärjestelmien olemassaolo. Teoriat eroavat siinä, että onko olemassa

alempia muistijärjestelmiä, joita koordinoivat järjestelmässä ylempänä olevat muistijärjestelmät vai toimivatko eri työmuistin komponentit rinnakkain. Kaikissa malleissa ei myöskään erotella visuospatiaalisen ja verbaalisen tiedon erillistä käsittelyä.

### **1.1.2 Työmuistin merkitys kognitiivisessa suoriutumisessa**

Lapsilla on tutkittu työmuistin eri komponenttien yhteyttä esimerkiksi akateemiseen suoriutumiseen, lukemiseen, aritmeettisiin taitoihin ja päättelykykyyn. Fonologisen silmukan on osoitettu olevan yhteydessä lasten aritmeettisiin taitoihin ja erityisesti visuospatiaalisen lehtiön toiminta on yhteydessä aritmeettiseen ongelmanratkaisuun lapsilla (Andersson, 2010; Ashkenazi, Rosenberg- Lee, Metcalfe, Swigart & Menon, 2013; Vanderbroucke, Verschueren, Desoete, Aunio, Ghesquiére & Baeyens, 2018). Myös oppimisvaikeuksien taustalla voivat olla työmuistin häiriöt (Gathercole, Lamont ja Alloway, 2006). Lapset, joilla on erilaisia oppimisen ja kielen häiriöitä, suoriutuvat ikätasoa keskimääräisesti heikommin työmuistin toimintaa mittaavissa testeissä. Lapsilla, joilla on heikko työmuistin toiminta menestyvät keskimääräistä heikommin koulussa (Sabol & Pianta, 2012). Työmuistin ollessa oleellinen oppimisessa, on sen toiminnan määrittäminen tärkeää jo peruskoulun aloittaneilla lapsilla, jotta voitaisiin ennaltaehkäistä ongelmia koulusuoriutumisessa (Nevo & Breznitz, 2013). Työmuistisuoriutumisen tutkimisella voidaan myös ennustaa ja selventää lapsuuden kognitiivista päättelykykyä sekä mahdollisia häiriöitä kognitiivisessa toiminnassa (Swanson, 2005). Korkeamman työmuistikapasiteetin omaavat lapset ovat parempia vaihtamaan tarkkaavuutta toisen tehtävän vaatimuksista erilaista vastaustyyliä vaativaan tehtävään (Espy ja Bull, 2005). Lasten suoriutuminen työmuistitesteissä erottelee erilaisia neurokehityksellisiä häiriöitä (Alloway, Seed & Tewolde, 2016) kuten lukemiseen liittyviä häiriöitä (Gathercole, Alloway, Willis & Adams, 2006) sekä kielen kehityksen häiriöitä (Alloway & Archibald, 2008).

Aikuisilla työmuistin kapasiteetti on tärkeä osa- alue kognitiivisissa toiminnoissa. Työmuistin on esimerkiksi todettu olevan vahvasti yhteydessä toiminnanohjaukseen (McCabe, Roediger, McDaniel, Balota & Hambrick, 2010). Tarkkaavuus ja työmuisti taas toimivat yhteistyössä niin, että merkityksellinen informaatio pääsee työmuistin käsittelyyn tarkkaavuuden kautta ja tietoa pystytään ylläpitämään mielessä (Awh, Vogel & Oh, 2006). Aikuisilla työmuistisuoriutumisella voidaan myös ennustaa ongelmanratkaisua, kielellisiä toimintoja sekä päättelykykyä (Towse &



Cowan, 2005). Kliinisessä käytössä työmuistin tutkiminen on tärkeää, sillä työmuistin heikentyminen voi olla yhteydessä skitsofreniaan, Alzheimerin tautiin sekä lukemisvaikeuksiin (Kane, Conway, Hambrick & Engle, 2007).

## **1.2 Työmuistin kehitys lapsuudesta aikuisuuteen**

Työmuistin kehitys on nopeaa lapsuudessa. Varhaislapsuudessa lapset pystyvät yksinkertaiseen informaation prosessointiin, tiedon ylläpitämiseen mielessä ja informaation hakuun pitkäkestoisesta muistista (Luna, Garver, Urban, Lazar & Sweeney, 2004). Näiden toimintojen täsmällisempi koordinaatio ja yhdistäminen jatkavat kehittymistä nuoreen aikuisuuteen saakka. Työmuistin kehittymiseen vaikuttavat osaltaan myös prosessointinopeuden ja inhibition kehittyminen (Luna ym., 2004). Nopeampi prosessointi mahdollistaa sen, että tieto voidaan välittää tehokkaammin työmuistiin ja inhibition kehittyminen vähentää työmuistin vaatimuksia, koska vain merkityksellinen informaatio pääsee tiedonkäsittelyyn (Gray, Green, Alt, Hogan, Kuo, Brinkley & Cowan, 2017). Tässä tutkimuksessa raportoidut eri ikäisillä lapsilla tehdyt työmuistin ja lyhytkestoisen muistin kehityksen tutkimukset ovat pääosin olleet poikittaistutkimuksia. Pitkittäistutkimuksia työmuistin kehityksestä lapsuudesta aikuisuuteen on toistaiseksi vähän.

### **1.2.1 Lasten työmuistin rakenteen kehitys**

Lasten työmuistin rakenteen tutkimus on ollut runsasta. Tutkimustulokset ovat olleet suurimmalta osin yhteneväisiä sen suhteen, että myös lapsilla työmuisti jakautuu Baddeleyn esittämän mallin mukaisiin komponentteihin: visuospatiaaliseen lehtiöön, fonologiseen silmukkaan ja keskusyksikköön (esim. Campos, Almeida, Ferreira & Martinez, 2013; Michalczyk, Malstadt, Worgt, Konen, & Hasselhorn, 2013; Nadler & Archibald, 2014). Kolmiosainen komponenttimalli, jossa ovat erillisinä visuospatiaalinen lehtiö, fonologinen silmukka sekä keskusyksikkö, ilmenevät 6- vuotiailla lapsilla (Gatherole, Pickering, Ambridge ja Wearing, 2004). Näiden komponenttien kehitykselliset ominaisuudet ovat samankaltaisia ja suoriutuminen näyttää lineaarisesti kasvavan 4- vuotiaasta alkaen, jatkuen koko nuoruuden. Päiväkotikäisillä lapsilla tehdyssä työmuistin rakenteen tutkimuksessa havaittiin, että aikuisten työmuistiteorioissa esitetty työmuistin rakenne, jossa on erillinen verbaalinen ja visuaalinen prosessointi, havaittiin 5- 7- vuotiailla lapsilla (Hornung, Brunner, Reuter ja Martin, 2011).

Työmuistin rakenteen kehityksen eräässä kaikkein laajimmalla ikäryhmällä (4- 11-vuotiaat) toteutetussa tutkimuksessa lapsia tutkittiin verbaalisen lyhytkestoisen muistin, verbaalisen työmuistin, visuospatiaalisen työmuistin ja visuospatiaalisen työmuistin tehtävissä suoriutumisella (Alloway, ym. 2006). Työmuistia mittaavat tehtävät edellyttivät informaation varastointia sekä prosessointia ja lyhytkestoisen muistin tehtävät taas pelkästään informaation varastointia. Tulokset analysoitiin konfirmatorisella faktorianalyysillä, jossa ikäryhmät oli jaoteltu kolmeen erilliseen luokkaan: 4-6 vuotiaat, 7-8 vuotiaat ja 9-11- vuotiaat. Tulokset osoittivat, että parhain malli kaikissa ikäluokissa oli kolmiosainen, jossa yksi oli verbaalisen lyhytkestoisen muistin faktori, toinen visuospatiaalisen lyhytkestoisen muistin faktori ja kolmas työmuistin faktori.

Työmuistin eri komponenttien kehittymisen tutkimuksissa on esitetty, että keskusyksikkö ja visuospatiaalinen lehtiö olisivat lapsuudessa vahvasti yhteydessä toisiinsa. Eräässä portugalilaisilla 8-9- vuotiailla lapsilla (n=103) tehdyssä tutkimuksessa konfirmatorisen faktorianalyysin tulokset osoittivat, että parhaassa mallissa keskusyksikön ja visuospatiaalisen lehtiön korrelaatio oli korkea ( $r=.91$ ) ja ne latautuivat samalle faktorille, joka oli yhteydessä fonologiseen silmukkaan (Campos, ym., 2013). Tutkimustulosten toisessa laaditussa mallissa myös Baddeleyn kolmiosaisen komponentin rakenne sopi tutkimusaineistoon. Toisessa neljävuotiailla tehdyssä tutkimuksessa havaittiin, että työmuistin eri komponentit ovat kehittyneet, mutta erityisesti visuospatiaalinen lehtiö sekä keskusyksikkö ovat yhteydessä toisiinsa vahvemmin 4-6 vuotiaana kuin myöhemmin kehityksen aikana (Alloway, ym. 2006).

Neljän vuoden iässä lapset eivät pysty vielä aktiivisesti kertaamaan mielessä verbaalista informaatiota, joten tiedon ylläpitäminen mielessä on passiivisempaa ja fonologinen silmukka ei ole aktiivisena (Gathercole, Adams, & Hitch, 1997). Tämä johtaa siihen, että lapset ovat aikuisia riippuvaisempia visuospatiaalisen lehtiön käytöstä visuaalisen, mutta myös auditiivisen materiaalin ylläpitämisessä mielessä (Gathercole, 1998). Lapset eivät pysty muodostamaan fonologisia vasteita visuaaliselle informaatiolle, joten he käyttävät pelkästään visuaalisia ominaisuuksia muistiärsykettä analysoidessaan (Hitch, Woodin & Baker, 1989). Fonologisen silmukan kehittyessä tiedon prosessointi muuttuu niin, että strategiana on prosessoida visuaalisen objektin ominaisuudet verbaalisesti työmuistissa. Kuuden vuoden ikäisenä fonologisen silmukan aktiivisuus kasvaa (Gathercole & Pickering, 2000) ja 11- vuoden iästä lähtien fonologinen silmukka, visuospatiaalinen lehtiö ja keskusyksikkö kehittyvät aikuisuuden tasolle (Gathercole, ym., 2004).

### 1.2.2 Työmuistin määrällinen kehitys

Lapsilla on tutkittu myös työmuistin määrällistä kehitystä ja esimerkiksi miten paljon informaatiota eri ikäiset lapset pystyvät prosessoimaan työmuistissa kerrallaan. Auditivisverbaalista työmuistia mittaavissa sarjallisen muistamisen tehtävissä suoriutuminen paranee varhais- ja keskilapsuudessa (Gathercole, 1998). Palauttaessa mieleen välittömästi etuperin esitettyjä numerosarjoja, prosessoinnissa on mukana pääosin fonologinen silmukka, kun taas laajemmassa prosessoinnissa esimerkiksi numerosarjoja esittäessä takaperin on mukana myös keskusyksikkö, koska numeroita tulee muistaa ja lisäksi kääntää päinvastaiseen järjestykseen mielessä (Ostrosky-Solís & Lozano, 2006).

Lapsilla on alhaisemmat suoriutumiset sarjallisen muistamisen tehtävissä kuin aikuisilla (Cowan & Alloway, 2009). Tämä selittyy sillä, että lasten muistivaraston koko on pienempi ja he käyttävät vähemmän tehokkaita mieleenpalautusstrategioita, jotka alkavat kehittyä vasta peruskoulun aikana (Cowan & Alloway, 2009). Dempsterin (1981) laajassa katsauksessa, jossa tutkittiin muistisarjan kehittymistä, havaittiin että esikouluikäinen lapsi muistaa keskimäärin yhden kolmasosan aikuisen muistisarjasta. Tutkimuksissa, joissa lasten on muistettava verbaalisesti toisiinsa liittymättömiä sanoja oikeassa järjestyksessä, neljävuotiaat muistavat kaksi tai kolme sanaa, kun taas 12- vuotiaat noin kuusi sanaa (Schneider, 2014). Vastaavasti numerosarjoja muistettaessa, viiden vuoden ikäiset pystyvät muistamaan keskimäärin neljän ja puolen numeron pituisia numerosarjoja (Galotti, 2011), kun taas 9- vuotiaat muistavat jo kuusi numeroa (Schneider, 2014). Tästä numerosarjojen pituus ei enää kasva merkittävästi iän myötä, sillä aikuisilla numerosarjan pituus on noin seitsemän (+ ja - 2).

Visuaalisen työmuistin kapasiteettia voidaan mitata tehtävällä, jossa tutkittavalle esitetään peräkkäin kuvioryhmiä, jotka ovat joko identtisiä tai niissä on tapahtunut muutos ja tutkittavan tulee kertoa, onko muutosta tapahtunut (Simmering, 2012). Jo kolmen ja neljän vuoden iässä lapset pystyvät suoriutumaan tehtävässä ja visuaalisen työmuistin kapasiteetti kasvaa kahdesta yksiköstä kolmeen tai neljään yksikköön viiden ja seitsemän ikävuoden välillä. Nuorilla aikuisilla tehdyissä tutkimuksissa työmuistin kapasiteetin koko on kolmen ja viiden yksikön välissä (Cowan, 2010). Visuaalisen työmuistin kapasiteettiin kuitenkin vaikuttavat myös esitettyjen objektien visuaalinen kompleksisuus. Esimerkiksi eräässä tutkimuksessa 18- 30- vuotiaille aikuisille (n=6)

esitettiin värillisiä neliöitä, kiinalaisia kirjaimia ja muita visuaalisesti moniulotteisia kuvia (Alvarez & Cavanagh, 2004). Tutkittaville esitettiin ensin yksi kuvasarja ja perään toinen kuvasarja ja tämän jälkeen tutkittavien oli vastattava, oliko kuvasarja identtinen ensimmäisen kanssa. Aluksi kuvia oli yksi ja sitten määrää kasvatettiin aina kahdella objektilla. Tulokset osoittivat, että yksinkertaisten värillisten neliöiden muistamisen kapasiteetti oli neljä kuvaa, mutta monimutkaisempien kuvien kohdalla vain kaksi.

Viisivuotiaiden ja kymmenenvuotiaiden visuaalista työmuistia on tutkittu esittämällä tutkittaville kolme erillistä kuvasarjaa piirretyistä kuvista ja tutkittavien on pitänyt välittömästi palauttaa mieleen ääneen esitetyt kuvasarjat (Hitch, Halliday, Schaafstal & Schraagen, 1988). Tutkimuksen ensimmäinen kuvasarja oli kontrollisarja, jossa kuvat eivät liittyneet toisiinsa ja kuvien nimet muodostuivat yksiosaisista sanoista. Toisessa kuvasarjassa kuvien objektit olivat visuaalisesti samanlaisia, mutta nimet olivat edelleen yksiosaisia sanoja. Kolmannessa kuvasarjassa objektien nimet olivat pitkiä ja kuvat olivat visuaalisesti erilaisia. Tulokset osoittivat, että 10- vuotiaiden lasten oli vaikeampaa muistaa kuvia, joilla oli pitkä nimi kuin kuvia, joilla oli lyhyt nimi. Lisäksi heidän suoriutumiseensa ei vaikuttanut visuaalinen objektien samankaltaisuus. Tämä viittasi siihen, että vanhemmat lapset hyödynsivät tiedonkäsittelyssä verbaalista työmuistia eli he pystyivät verbaalisesti ylläpitämään visuaalisesti esitettyä kuvaa mielessään. Viisivuotiaiden lasten suoriutuminen taas heikkeni, jos objektit olivat samankaltaisia visuaalisesti, mutta kuvien nimien pituudella ei ollut vaikutusta suoriutumiseen. Tämä osoitti, että he nojasivat enemmän visuaaliseen työmuistiin mieleen palautuksessa.

### **1.3 Työmuistin yhteys älykkyyteen ja kognitiiviseen suoriutumiseen**

Älykkyyden tutkimuksella sekä mittaamisella on pitkä historia ja edelleenkin tämä tutkimustieto voidaan nähdä nykypäivän kognitiivisten testien taustalla (esim. Thorndike, 1990; Tulsy, ym. 2003). Älykkyyden rakenteesta on esitetty eriäviä tutkimustuloksia sen suhteen, onko taustalla yksi latentti tekijä vai jakautuuko älykkyys useampaan eri komponenttiin. Lisäksi on tutkittu, miten työmuistisuoriutuminen ennustaa älykkyyttä lapsilla.

#### **1.3.1 Älykkyyden rakenne aikuisilla**

Spearmanin (1904) mukaan älykkyyden rakenne muodostuu yhdestä yleisemmästä faktorista, ”g”, joka kuvastaa kokonaisälykkyyttä sekä kykyä suorittaa mentaalisia tehtäviä. Älykkyyttä voidaan

jaotella myös kahteen tasoon: joustavaan älykkyyteen (*fluid intelligence, Gf*) ja kiteytyneeseen älykkyyteen (*crystallized intelligence, Gc*) (Horn & Cattell, 1967). Joustavalla älykkyydellä viitataan yleiseen tiedonkäsittely- ja ongelmanratkaisukykyyn, johon kuuluvat esimerkiksi suhteiden hahmottaminen, käsitteiden muodostaminen sekä päättelykyky. Kiteytynyt älykkyys taas pitää sisällään ajan myötä kertyneen tiedon. Joustava älykkyys ei ole stabiili ominaisuus ja siihen vaikuttavat kehitykselliset ja kokemusperäisen tiedon kautta tulevat tekijät (Fry & Hale, 2000). Esimerkiksi lapsuudessa aivojen kypsyminen voi parantaa joustavan älykkyyden kykyä. Kiteytynyt älykkyys taas kehittyy koulutuksen sekä kokemuksen myötä ja se kuvastaa verbaalista tietoutta ja kykyjä (Cattell, 1987).

Faktorianalyysitutkimuksilla on määritelty, että älykkyydestä vastaa yksi faktori. Se koostuu hierarkkisesti rakentuneesta kognitiivisten kykyjen rakenteesta, jotka ovat yhteydessä toisiinsa, mutta ovat erotettavissa omiksi faktoreikseen (Carroll, 1993). Lopulta teorioista on integroitu yksi yhtenäinen teoria (CHC), joka muodostuu hierarkkisesti kolmesta tasosta (McGrew, 2009). Yksi taso kattaa yleisen älykkyyden ja toiseen tasoon sisältyy 10 eri laajempaa kykyä: joustava älykkyys (*Gf*), kiteytynyt älykkyys (*Gc*), lyhytkestoinen muisti (*Gsm*), pitkäkestoinen muisti (*Glr*), visuaalinen prosessointi (*Gv*), auditorinen prosessointi (*Ga*), prosessointinopeus (*Gs*), reaktioaika (*Gt*), kvantitatiivinen tietous (*Gq*) sekä lukemis- ja kirjoittamiskyky (*Grw*). Kolmantena jokaisen laajemman kyvyn alle vielä luokitellaan tarkemmin siihen sisältyvät kyvyt, esimerkiksi joustavassa älykkyydessä deduktiivinen päättely. CHC- teoria on empiirisesti tuetuin psykometrinen teoria ihmisen kognitiivisen toiminnan rakenteesta (Alfonso, Flanagan, & Radwan, 2005).

### **1.3.2 Työmuistin yhteys yleiseen älykkyyteen lapsilla ja aikuisilla**

Tutkimuksista työmuistin yhteydestä yleiseen älykkyyteen ja kognitiiviseen suoriutumiseen saatu tieto on ollut vaihtelevaa. Päättelykyvyn ja työmuistin yhteyttä on tutkittu testeillä, joihin on sisältynyt aritmeettisen päättelykyvyn ja matemaattisen tietouden tehtäviä sekä Baddeleyn työmuistimalliin perustuvia testejä (Kyllönen ja Christal, 1990). Tulokset osoittivat vahvoja yhteyksiä päättelykyvyn faktoreiden ja työmuistikapasiteetin välillä ( $r = .80 - .90$ ) ja esitettiin, että tästä vaihtelusta vastaisi yksi faktori eli yksi identtinen rakenne.

On myös esitetty, että työmuisti ja joustava älykkyys ovat vahvasti yhteydessä toisiinsa, mutta ne ovat erillisiä rakenteita. Eräässä laajassa ( $n=86$ ) meta-analyysitutkimuksessa tarkasteltiin

työmuistin ja älykkyyden yhteyttä (Ackerman, Beier ja Boyle, 2005). Meta-analyysin tulokset osoittivat, että työmuisti on erotettavissa yleisestä älykkyydestä, joustavasta älykkyydestä, päättelykyvystä sekä muusta älykkyyden faktorista. Tuloksista näyttäytyi, että työmuistia kartoittavat testit olivat yhteydessä kognitiivisiin kykyihin esimerkiksi verbaaliseen, numeeriseen ja spatiaaliseen kyvykkyyteen. Työmuisti myös selittää yhden kolmasosan tai jopa puolet yleisen älykkyyden vaihtelusta (Conway, Kane ja Engle, 2003).

Kehityksellisestä näkökulmasta on taas tutkittu, miten ikä, prosessointinopeus, työmuisti ja päättelykyky ovat yhteydessä toisiinsa (Nettelbeck & Burns, 2010). Tutkimukseen valittiin 8-14-vuotiaita lapsia (n=240) sekä aikuisia, jotka olivat 18-87-vuotiaita (n=238). Tutkittavat suorittivat psykometrisiä testejä, joihin sisältyi esimerkiksi työmuistin toimintaa kartoittavia sarjamuistitehtäviä sekä reaktioaikaa mittaavia testejä. Tulokset osoittivat, että lapsuudesta aikuisuuteen suoriutuminen testeissä parani, joka vuorostaan johti nopeampaan prosessointinopeuteen ja tämä taas vaikutti työmuistin kehittymiseen. Lopuksi työmuistin kehittyminen nosti suoriutumista päättelykyvyssä. Tämä on linjassa myös aikaisemman tutkimustiedon kanssa, jossa työmuistin kehittyminen paransi suoriutumista päättelykyvyn tehtävissä (Fry & Hale, 1996). Eräässä tutkimuksessa aikuisia tutkittiin myös kognitiivista toimintaa mittaavilla testeillä sekä työmuistin toimintaa kartoittavilla testeillä, joissa on tarkoitus varastoida ja prosessoida tietoa samanaikaisesti (Salthouse ja Pink, 2008). Tuloksista havaittiin, että joustavan älykkyyden ja työmuistin yhteyteen eivät vaikuta informaation määrä, jota tulee ylläpitää mielessä eikä tehtävien monimutkaisuus.

### **1.3.3 Joustavan älykkyyden ja työmuistin yhteys lapsilla**

Useat tutkimukset lapsilla ovat osoittaneet, että työmuistisuoriutuminen ja lyhytkestoinen muisti ovat vahvoja ennustajia erityisesti joustavalle älykkyydelle ja tässä kappaleessa tarkastellaan vielä tarkemmin joustavan älykkyyden ja työmuistin yhteyttä. Esimerkkinä Tillmanin, Nybergin ja Bohlin (2008) tutkimus, jossa 6-13-vuotiailta lapsilta tutkittiin verbaalisen ja visuospatiaalisen työmuistin eri komponentteja ja niiden yhteyttä joustavaan älykkyyteen. Tutkimusmenetelminä olivat erilaiset lyhytkestoista muistia, työmuistia sekä älykkyyttä mittaavat testit ja jokaisesta ikäryhmästä muodostettiin oma luokka, esimerkiksi 6-7-vuotiaat. Tulokset osoittivat, että lyhytkestoinen muisti ja työmuisti olivat yhteydessä älykkyyteen.

Eräässä pitkittäistutkimuksessa, jossa lapsia seurattiin päiväkodista toiselle luokalle, havaittiin että työmuistin faktorista olevan vahvat yhteydet joustavaan älykkyyteen, mutta lyhytkestoisen muistin faktorista taas ei yhteyksiä löytynyt (Engel de Abreu, ym., 2010). On havaittu, että nimenomaan monimutkaisemmilla työmuistin toimintaa mittaavilla tehtävillä voidaan tavoittaa kognitiivisia toimintoja, joihin sisältyvät joustavan älykkyyden osa-alueet kuten merkityksellisen informaation ylläpitämisen mielessä (Simmering, 2012). Neljäs- ja viidesluokkalaisilla ( $n=176$ , Md = 9.27 vuotta) tehdyissä työmuistin ja älykkyyden yhteyden tutkimuksessa, konfirmatorisella faktorianalyysillä saatiin erotettua työmuistin faktori sekä erilliset verbaalisen ja visuospatiaalisen lyhytkestoisen muistin faktorit (Giofré, Mammarella ja Cornoldi, 2013). Lisäksi joustavan älykkyyden ja työmuistin välillä oli vahva korrelaatio ( $r=.81$ ) sekä visuospatiaalinen lyhytkestoinen muisti oli yhteydessä joustavaan älykkyyteen ( $r=.31$ ). Norjalaisilla koululaisilla tehdyssä pitkittäistutkimuksessa ( $n=283$ ) tutkittiin hierarkkisella regressioanalyysillä, miten työmuistia ja älykkyyttä mittaavat testit ovat yhteydessä toisiinsa (Tillman, Bohlin, Sorensen & Lundervold, 2009). Lapsia seurattiin seitsemän vuoden iästä 11- vuotiaaksi ja he suorittivat erilaisia älykkyyttä, työ- ja lyhytkestoista muistia sekä tarkkaavuuden ylläpitoa vaativia tehtäviä. Tulokset osoittivat, että työmuisti sekä lyhytkestoinen muisti olivat yhteydessä joustavaan älykkyyteen, mutta myös kiteytyneeseen älykkyyteen.

Iranilaisilla koululaisilla tehdyssä tutkimuksessa tutkittavat ( $n=356$ ) suorittivat joustavaa älykkyyttä, lyhytkestoisen muistin, työmuistin ja toiminnanohjausta mittaavia testejä (Shahabi, Abad & Colom, 2014). Lapset jaettiin kahteen ryhmään niin, että nuorempien ikäryhmän keskiarvo oli 8.13 vuotta ja vanhemman ikäryhmän 12.10 vuotta ja tulokset analysoitiin useamman ryhmän konfirmatorisella faktorianalyysillä. Tuloksista kävi ilmi, että lyhytkestoinen muisti ennusti yksilöllisiä eroja joustavassa älykkyydessä molemmissa ikäryhmissä ja regressiokertoimet olivat melkein yhtä suuret (.57 ja .60). Lisäksi lapsilla on saatu tuloksia Baddeleyn työmuistimallin fonologisen silmukan, visuospatiaalisen lehtiön ja keskusyksikön yhteydestä joustavaan älykkyyteen (Hornung, ym., 2011). Tutkimuksessa selvitettiin eri työmuistimallien yhteyksiä joustavaan älykkyyteen ja parhaiten aineistoon sopi Baddeleyn kolmiosainen komponenttimalli sekä Cowanin työmuistimalli. Jokaisen Baddeleyn komponentin korrelaatiot joustavaan älykkyyteen olivat korkeat ( $>.50$ ).

### 1.3.4 Älykkyyden tutkimus aikuisilla

Laajasti käytetty aikuisten älykkyyttä mittaava testi *Wechsler's adult intelligence scale* (WAIS-IV) on menetelmä, jolla voidaan kliinisessä käytössä arvioida 16-90 vuotiaiden kognitiivista suoriutumista (Wechsler, 2012). Wechsler (1950) sisällytti älykkyyden määritelmään idean, jonka mukaan älykkyydestä vastaa yksi yleisempi faktori, mutta tämän lisäksi se muodostuu useammista kognitiivisista kyvyistä. Wechslerin alkuperäinen määritelmä älykkyydestä on pysynyt melko muuttumattomana ja vielä uusimissakin aikuisten älykkyyttä mittaavassa testeissä sama määritelmä on mukana (Wechsler, 2012).

WAIS-IV:n tulos rakentuu neljästä indeksistä, jotka ovat kielellisen ymmärtämisen indeksi (*Verbal Comprehension Index*, VCI), visuaalisen päättelyn indeksi (*Perceptual Reasoning Index*, PRI), työmuisti-indeksi (*Working memory Index*, WMI) ja prosessointinopeuden indeksi (*Processing Speed Index*, PSI). Kielellisen ymmärtämisen indeksiin kuuluvat perusosatehtävät Samankaltaisuudet, Sanavarasto ja Yleistietous sekä lisäosatesti Yleinen käsityskyky. Näillä osatehtävillä voidaan arvioida yksilön kielellistä päättelyä ja ymmärtämistä sekä käsitteellistämistä. Visuaalisen päättelyn indeksiin kuuluvat perusosatestit Kuutiotehtävät, Matriisipäättely sekä Visuaalinen palapeli ja lisäosatestit Kuviovaaka ja Kuvien täydentäminen. Näillä testeillä taas voidaan arvioida ei- kielellistä päättelyä sekä havaintojen muodostumista. Työmuisti-indeksiin kuuluvat perusosatestit Numerosarjat ja Laskutehtävät sekä lisäosatesti Kirjain-numerosarjat. Työmuisti- indeksillä voidaan arvioida erityisesti yhtäaikaista sarjallista prosessointia, mutta myös tarkkaavuutta ja keskittymiskykyä. Prosessointinopeuden indeksiin taas kuuluvat perusosatestit Merkintunnistus ja Merkkikoe sekä lisäosatesti Visuaalinen etsintä. Nämä testit mahdollistivat mentaalisen ja hienomotorisen prosessoinnin nopeuden arvioinnin. WAIS-IV-testillä avulla voidaan arvioida yksilön kokonaisälykkyyssosamäärä (*Full Scale Intelligence Quotient*), johon lasketaan mukaan jokaiseen neljään indeksiin kuuluvat osatestit. Lisäksi VCI:stä ja PRI:stä voidaan laskea yleisen kyvykkyyden indeksi GAI (*General Ability Index*), jossa painotetaan vähemmän työmuistin ja prosessointinopeuden kykyjä (Drozdick, Holdnack, Weiss & Zhou, 2013).

WAIS-IV- testi sisältää kognition osa-alueita, jotka linkittyvät sekä kiteytyneeseen että joustavaan älykkyyteen. Joustavan älykkyyden tehtävät vaativat loogisten yhteyksien ymmärtämistä, ohjeiden yleistämistä sekä abstraktia informaation manipulointia (Carrol, 1993). Joustavaa älykkyyttä



mittaava tehtävä on Kuviovaaka, jolla voidaan mitata kvantitatiivista päättelykykyä. Kvantitatiivinen päättelykyky tarkoittaa päättelykyvyn toimintoja, joissa hyödynnetään matemaattista osaamista sekä induktiivista ja deduktiivista logiikkaa (Carrol, 1993; Wechsler, 2012). Lisäksi esimerkiksi Kuutiotehtävillä voidaan tavoittaa osittain joustavan älykkyyttä, sillä tehtävä edellyttää kykyä analysoida ja tehdä synteesejä abstrakteista asioista sekä ei- kielellistä päättelyä ja laaja-alaista visuaalista älykkyyttä. Kiteytynyt älykkyys on taas eroteltu faktorianalyysillä niin, että sanastoa mittaavat testit, verbaalinen ymmärtäminen, sanatietous, yksinkertaiset numeeriset laskutoimitukset ja yleinen tietous latautuvat samalle faktorille (Hunt, 2008). Esimerkiksi WAIS-IV:n perusosatesti Samankaltaisuudet edellyttää kiteytynyttä älykkyyttä, mutta lisäksi myös abstraktia päättelyä ja kuulonvaraista ymmärtämistä. WAIS-IV: ssa visuaalisen päättelyn indeksin ja kielellisen ymmärtämisen indeksin on tutkitusti nähty sisältävän eniten perusosatehtäviä, jotka latautuvat yleisen älykkyyden g- faktoriin (Drozdick, ym., 2013). WAIS-IV osatehtävien rakennevaliditeettia sekä yhteyttä CHC- teorian mukaiseen älykkyyteen on tutkittu konfirmatorisella faktorianalyysillä (Benson, Hulac & Kranzler, 2010). Tuloksista havaittiin, että WAIS-IV:llä voitiin mitata kiteytynyttä älykkyyttä, joustavaa älykkyyttä, visuaalista prosessointia, lyhytkestoista muistia sekä prosessointinopeutta.

## **1.4 Tutkimuskysymykset**

Tässä tutkimuksessa halutaan selvittää, voidaanko lapsuuden lyhytkestoisen muistin suoriutumisella ennustaa aikuisuuden työmuistisuoriutumista. ITPA:n auditiivisen sarjamuistin tehtävissä tutkittavan tulee toistaa esitetyt numerosarjat etuperin ja sarjojen pituudet kasvavat asteittain eikä informaation manipulaatiota edellytetä (Kirk, McCarthy & Kirk, 1968). WAIS-IV:n numerosarjoissa taas on lisäksi kaksi osiota, joissa esitettyjä numerosarjoja tulee manipuloida mielessä. Tämän vuoksi halutaan tutkia yksinkertaisten sarjamuistin tehtävien yhteyttä tehtävään, jossa edellytetään monimutkaisempaa työmuistin toimintaa. Viimeisenä halutaan tutkia, voidaanko lapsuuden lyhytkestoisen muistin suoriutumisella ennustaa visuaalista ja verbaalista päättelykykyä aikuisena. Taustamuuttujiksi tutkimukseen otetaan äidin korkein koulutus, tutkittavan oma korkein koulutus ja turvapisteet 9- vuotiaana. Äidin koulutuksella on vahva yhteys lasten kognitiiviseen suoriutumiseen ja koulumenestymiseen (esim. Hoff & Tian, 2005; Schneider, Wolke, Schlagmuller, & Meyer, 2004). Lisäksi esimerkiksi 42:n tutkimuksen meta-analyysissä omalla korkeimmalla koulutuksella nähtiin olevan yhteys kognitiivisiin kykyihin ja älykkyyteen

(Ritchie & Tucker-Drob, 2018). Sosioekonomisella statuksella taas esimerkiksi nähdään olevan yhteys lasten kognitiiviseen kehitykseen, esimerkiksi sanaston kehitykseen (Hoff, 2003).

Tutkimuskysymykset ovat:

- 1) Miten lapsuuden auditiivisen ja visuaalisen sarjamuistin tehtävissä suoriutuminen on yhteydessä aikuisuuden auditiivisverbaaliseen työmuistisuoriutumiseen?
- 2) Miten lapsuuden auditiivisen ja visuaalisen sarjamuistin tehtävissä suoriutuminen on yhteydessä auditiivisverbaalisen lyhytkestoiseen muistiin sekä työmuistisuoriutumisen aikuisuudessa, jossa informaatiota manipuloidaan?
- 3) Miten lapsuuden auditiivisen ja visuaalisen sarjamuistin tehtävissä suoriutuminen on yhteydessä kielelliseen ja visuaaliseen päättelykykyyn aikuisuudessa?

## **2 Menetelmät**

### **2.1 Aineisto**

Aineisto on osa Kognition pitkäaikaistutkimusta (KOPUTUS). Tämän tutkimuksen aineiston keskeisimmät tunnusluvut ovat nähtävissä taulukossa 1. Tutkimuksen alkuperäinen aineisto on kerätty vuosina 1971–1974 Helsingin Kättilöopistolla syntyneistä 22 359 lapsesta, joista vastasyntyneistä 1196:llä (658 pojalla, 538 tytöllä) todettiin yksi tai useampi syntymäaikainen riskitekijä (Michelsson, Ylinen, Saarnivaara & Donner, 1978). Syntymäaikaisia riskitekijöitä olivat matala syntymäpaino ( $\leq 2000\text{g}$ ), Apgar- pistemäärä alle seitsemän joko viisi tai yhdeksän minuuttia syntymästä, neurologinen oire, vakava hengitysteihin liittyvä ongelma, hyperbilirubiini (bilirubiini  $> 340 \mu\text{mol/l}$ ), vakava tulehdus tai äidin raskaudenaikainen diabetes. Aineistossa 19 %:lla oli enemmän kuin yksi syntymäaikainen riskitekijä (Michelsson, ym., 1978). Tutkimuksiin otettiin mukaan myös kontrolliryhmä ( $n = 163$ ), joilla ei ollut syntymäaikaisia riskitekijöitä sekä olivat syntyneet samaan aikaan kuin riskiryhmä ja kävivät samoja peruskouluja ja asuivat maantieteellisesti samoilla alueilla. Ensimmäisen viikon aikana riskiryhmään kuuluvista lapsista kuoli 124 (10.4%) ja ennen viidettä ikävuotta 34 (3.2%) (Hokkanen, Launes & Michelsson, 2013).

Ennen viiden vuoden seurantatutkimusta, tutkimusaineistosta poistettiin vaikeasti vammautuneet, joilla oli joko CP- vamma, älyllinen kehitysvamma, vakavia sensorisia ongelmia, leikattu hydrokefalus tai yhdistelmä näistä (n=25) (Lindahl, Michelsson, Helenius & Parre, 1988). Tutkittavia on seurattu 5-, 9-, 16-, 30- ja 40- vuotiaana. Viimeisin tutkittavin seurantatutkimus on toteutettu vuosina 2014-2016, jolloin tutkittavia oli 414 riskiryhmästä ja 99 kontrolliryhmästä. Tutkimuksella on Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiirin eettisen toimikunnan lupa (147/13/03/00/13) ja jokaiselta tutkittavalta on kysytty kirjallinen suostumus tutkimukseen osallistumista varten.

Tähän tutkimukseen otettiin mukaan 5-, 9- ja 40- vuotiaana kerättyjä tietoja. Analyysiin otettiin mukaan tutkittavat, joilla ei ollut puuttuvia arvoja tässä työssä tarkastelluissa ITPA:n auditiivisen ja visuaalisen sarjamuistien tehtävissä eikä WAIS- IV:n Numerosarjoissa, VCI:ssä ja PRI:ssä. Viimeisimmässä seurantavaiheessa 40- vuotiaana tutkittavat (n=513) täyttivät The Depression Scale (DEPS)- kyselyn, jolla voidaan arvioida masennuksen vakavuutta (Poutanen, Koivisto, Kääriä & Salokangas, 2010). DEPS:llä voidaan erotella potilaat kolmeen ryhmään: 1) potilaat, joilla ei ole psykiatrasta oireilua 2) joitain depressiivisiä oireita 3) kliininen depressio. Kliinisen depression rajana oli 12, joten alkuperäisestä aineistosta poistettiin ne tutkittavat, joilla DEPS- skaalan pistemäärä oli 12 tai yli (n=35). Seuraavaksi aineistosta rajattiin ne pois tutkittavat, joilla ei ollut tietoa omasta korkeimmasta koulutuksesta ja äidin korkeimmasta koulutuksesta (n=48). Tämän jälkeen aineistosta poistettiin ne tutkittavat, joilla ei ollut tietoa 5- vuotiaana visuaalisen sarjamuistin eikä auditiivisen sarjamuistin tehtävistä suoriutumisen tuloksista (n= 88) ja ne tutkittavat, joilla ei ollut tietoa 9- vuotiaana visuaalisen sarjamuistin eikä auditiivisen sarjamuistin tehtävistä (n= 32). Tämän jälkeen aineistosta poistettiin tutkittavat, joilla ei ollut tietoa 40- vuotiaana Numerosarjat- tehtävän standardipisteistä (n=1) sekä ne, joilta puuttuivat VCI:n ja PRI:n tulokset (n=1). Viimeisenä poistettiin ne tutkittavat, joilta ei ollut tiedossa turvapisteitä 9- vuotiaana (n=7). Lopullinen tähän tutkimukseen valittujen määrä oli 301.

Taulukko 1. Tutkimusaineiston tunnusluvut (n= 301)

	N	%	ka	kh
Sukupuoli				
Nainen	160	53.20 %		
Mies	141	46,80 %		
Ikä			42.00	1.32

Koulutus		
Keskiaste tai alempi	193	66.10 %
Yliopistotutkinto	108	35.90 %

Äidin koulutus		
Keskiaste tai alempi	255	84.70 %
Yliopistotutkinto	46	15.30 %

Turvapistees 9- vuotiaana	0.57	1.76
---------------------------	------	------

## 2.2 Tutkimusmenetelmät

Tutkittavilta kerättiin 40- vuotiaana kyselylomakkeilla tietoa omasta korkeimmasta koulutuksesta ja äidin korkeimmasta koulutuksesta. Taustamuuttujista tutkittavien oma koulutustausta luokiteltiin kahteen ryhmään korkeimman suoritettun tutkinnon perusteella: 1) Lukio, ammattikoulu tai alempi koulutus 2) Yliopistotason tutkinto, johon sisältyi lisensiaatti tai tohtorin tutkinto. Tutkittavien äidin koulutus luokiteltiin samoin kahteen ryhmään korkeimman tutkinnon perusteella: 1) Keskiasteen tutkinto tai alempi 2) Yliopistotutkinto tai ylempi, johon sisältyi lisensiaatti tai tohtorin tutkinto.

Kolmanneksi taustamuuttujaksi analyysin otettiin mukaan 9- vuotiaana lasketut turvapisteet-muuttuja. Asteikko on alkuperäisen tutkijaryhmän laatima ja sillä on tarkoitus arvioida perheen psykososiaalista tilannetta. Asteikon pistemäärä voi vaihdella 0–18 välillä, ja korkeampi pistemäärä viittaa useampiin turvattomuutta tuottaviin tekijöihin. Pistemäärää nostavat tiedot perheenjäsenten riidoista, alkoholin väärinkäytöstä, työttömyysjaksoista, perheväkivallasta ja vankilatuomioista, sekä vakavista psyykkisistä tai somaattisista sairauksista. Tutkija pisteytti perheen tilanteen strukturoiduista kyselylomakkeista ja haastattelusta saatujen tietojen perusteella sekä viiden että yhdeksän vuoden tutkimuksen kohdalla.

Tutkittavat suorittivat viiden ja yhdeksän vuoden iässä neurologiset tutkimukset, psykologisia testejä sekä artikulatorisia testejä (Michelsson & Noronen, 1983). Käytettyihin menetelmiin sisältyi The Illinois Test of Psycholinguistic Abilities (ITPA)- testi, jolla on tarkoitus kartoittaa 3-9 - vuotiaiden lasten erilaisia vuorovaikutuksellisia kykyjä (Kirk, ym., 1968). Lisäksi ITPA on tarkoitettu kommunikaation ja kielen tutkimiseen sekä diagnostiseksi apuvälineeksi. Testi on standardoitu

suomalaisille lapsille (Kuusinen & Blåfield, 1974). Testissä on 12 osatestiä, joiden tehtävät mittaavat visuaalisen ja auditorisen tiedon vastaanottoa, visuaalista ja auditorista assosiaatiota, verbaalista ja manuaalista ilmaisua, visuaalista, auditorista ja kieliopillista ratkaisemista, visuaalista sekä auditiivista sarjajärjestyksiä ja äänteiden yhdistämistä. Tässä tutkimuksessa käytetään tutkittavien saamia asteikkopistemääriä, jotka on saatu muuntamalla raakapistemäärät niin, että keskiarvo on 36 ja hajonta kuusi.

Tähän tutkimukseen tarkasteltaviksi muuttujiksi 5- ja 9- vuotiailta otettiin lyhytkestoisien muistin toimintaa mittaavat tehtävät: auditiivinen ja visuaalinen sarjajärjestys ja näistä lasketut asteikkopisteet. Auditiivisen sarjajärjestyksen tehtävissä tutkittavalle luetaan lukusarjoja kahden luvun sekuntinopeudella ja tämän jälkeen pyydetään välitöntä toistamista. Visuaalisen sarjajärjestyksen tehtävissä taas osiot koostuvat yksinkertaisten geometristen kuvien muodostamisesta sarjoista. Jokainen sarja on esillä mallikuvana viiden sekunnin ajan ja testattavan on toistettava sama sarja kokoamalla se annetuilla kuvilla. Suomalaisella aineistolla tehdyissä tutkimuksissa havaittiin, että koko testin reliabiliteetti on hyvä ja esimerkiksi jokaisella ikätasolla reliabiliteettikerroin on suurempi kuin .90 (Blåfield & Kuusinen, 1974). Visuaalisen sarjajärjestyksen tehtävissä reliabiliteetit ovat tyydyttäviä: 5- vuotiailla  $r=.70$  ja 9- vuotiailla  $r=.71$ . Auditiivisen sarjajärjestyksen tehtävissä reliabiliteetti kasvaa vanhempiin ikäryhmiin mentäessä melko tasaisesti ja reliabiliteetit ovat hyviä: 5- vuotiailla  $r=.86$  ja 9- vuotiailla  $r=.89$ . Tutkittaessa 5- vuotiaiden Auditiivisen järjestyksen sekä sarjajärjestystehtävien yhteyttä havaittiin, että korrelaatio visuaalisesta sarjajärjestyksestä oli  $r=.31$  ja auditiivisen sarjajärjestyksen taas  $r=.42$ . Kun taas Visuaalisen järjestyksen ja sarjajärjestystehtävien yhteyksien tarkastelussa havaittiin, että visuaalisen sarjajärjestyksen korrelaatio oli  $r=.31$  ja auditiivisen sarjajärjestyksen yhteys taas  $r=.35$ . Yhdeksän vuoden ikäisten järjestystehtävien ja sarjajärjestystehtävien yhteyksissä, havaittiin, että Auditiivisen järjestyksen ja visuaalisen sarjajärjestyksen yhteys oli  $r=.19$  ja auditiivisen sarjajärjestyksen yhteys  $r=.26$ . Visuaalisen järjestyksen ja visuaalisen sarjajärjestyksen yhteys taas oli  $r=.10$  ja auditiivisen sarjajärjestyksen  $r=.29$ .

ITPA:n validiteetin tarkastelussa havaittiin, että sen korrelaatiot muihin kielellisten kykyjen testeihin olivat verrattain heikkoja, mutta valideimmat osatestit olivat nähdyn ymmärtäminen, visuaalinen järjestyminen, auditiivinen sarjajärjestys, kuullun ymmärtäminen, auditiivinen järjestyminen sekä visuaalinen sarjajärjestys (McCarthy & Olson, 1964). Lisäksi suomalaisessa validiteettitutkimuksessa havaittiin, että ITPA:n kokonaispistemäärä oli kohtalaisen validi, kun tutkittiin sen yhteyksiä

ensimmäisen ja toisen vuoden oppilaiden lukemisen, kirjoittamisen ja laskemisen arvosanoihin (Blåfield & Kuusinen, 1974).

Tutkittaville suoritettiin 40- vuoden iässä neurologinen tutkimus, neuropsykologinen tutkimus sekä aivojen magneettikuvaus. Neuropsykologisiin tutkimuksiin kuului WAIS- IV ja tähän tutkimukseen muuttujiksi otettiin kielellisen ymmärtämisen indeksi VCI sekä visuaalisen päättelyn indeksi PRI. Tässä tutkimuksessa VCI:n osatestit olivat: Samankaltaisuudet, Sanavarasto ja Yleistietous. PRI:n osatestit taas olivat Kuutiotehtävät ja Matriisipäätely. Lisäksi tutkimukseen otettiin mukaan työmuisti-indeksin perusosatesti Numerosarjat, jolla mitataan auditiivista työmuistia sekä aktiivista prosessointia (Wechsler, 2012). Jokaisesta osatestistä lasketaan raakapistee, joista muodostetaan standardipisteet suhteessa oman ikäryhmän tuloksiin. Indeksiarvot VCI ja PRI on laskettu standardointiaineistoon perustuen niin, että on laskettu yhteen osatestien standardipistemäärät. Kaikki indeksit ja kokonaisälykkyyssosamäärä standardoidaan pisteytyksessä niin, että keskiarvo on 100 ja keskihajonta 15. WAIS-IV:n kaikkien indeksien sekä kokonaisälykkyyssosamäärän reliabiliteetit ovat suomalaisessa standardointiaineistossa olleet hyviä tai erinomaisia (Wechsler, 2012). VCI:n kohdalla ikäryhmässä 35- 44 se oli  $r = .80$  ja ikäryhmässä 45- 54 se oli  $r = .89$ . PRI:n kohdalla taas ikäryhmässä 35- 44 se oli  $r = .87$  ja ikäryhmässä 45- 54 se oli  $r = .92$ . Numerosarjat- perusosatestin reliabiliteetti on myös melko hyvä: ikäryhmässä 35-44 se oli  $r = .81$  ja 45-54- vuotiaiden ryhmässä taas  $r = .87$ . WAIS- IV validiteettitarkasteluissa taas huomattiin, että suurimmaksi osaksi eri osatestit korreloivat keskenään indeksien sisällä. VCI:n ja PRI:n osatestit taas latautuivat voimakkaimmin yleisen älykkyyden g- faktorille eli indeksitasolla ne korreloivat vahvimmin yleiseen älykkyyteen. Lisäksi visuaalisen päättelyn osatestit korreloivat myös työmuistin testien kanssa, mikä voi selittyä sillä, että oivaltavaa päättelyä vaativien tehtävien osiot prosessoidaan myös työmuistissa (Wechsler, 2012).

Numerosarjat-perusosatehtävä koostuu kolmesta osiosta: Numerosarjat etuperin, Numerosarjat takaperin ja Numerosarjat järjestyksessä. Kaikissa osissa tutkija lukee tutkittavalle ääneen numerosarjoja ja tutkittavan tehtävä on toistaa ne välittömästi ääneen joko etuperin, takaperin tai järjestyksessä. Numerosarjat- etuperin osiossa jokainen sarja kasvaa kolmesta yhdeksään ja takaperin esittäessä kahdesta kahdeksaan numeroon. Tehtävä lopetetaan, jos tutkittava epäonnistuu kahdessa yrityksessä. Työmuistia kuormittavat enemmän Numerosarjat takaperin ja Numerosarjat järjestyksessä, mutta kaikki kolme tehtävää ovat suunniteltu mittaamaan työmuistin

toimintaa (Coalson, Raiford, Saklofske & Weiss, 2010). Lisäksi Numerosarjat- tehtävällä voidaan mitata tarkkaavaisuutta, auditorista prosessointia ja mielen sisäistä informaation manipulointia (Reynolds, 1997).

### 2.3 Tilastolliset analyysit

Aineiston tarkastelu sekä puuttuvien arvojen tarkastelu suoritettiin SPSS:n versiolla 25. Muuttujien normaalijakautuneisuutta tarkasteltiin silmämääräisesti graafisesti arvioimalla. Graafisesti tarkastelemalla kaikki muuttujat jakautuivat likimain normaalisti. Ensimmäiseen malliin otettiin mukaan ITPA:n visuaalisen ja auditiivisen sarjamuistin tehtävät 5- ja 9- vuotiaana sekä Numerosarjat- tehtävän kokonaispisteet WAIS-IV:ssä. Toiseen malliin kaksi otettiin mukaan ITPA:n visuaalisen ja auditiivisen sarjamuistin tehtävät 5- ja 9- vuotiaana sekä Numerosarjat- tehtävästä yksittäiset osatehtävät: Numerosarjat eteenpäin, Numerosarjat taaksepäin ja Numerosarjat järjestyksessä. Kolmanteen malliin otettiin mukaan ITPA:n visuaalisen ja auditiivisen sarjamuistin tehtävät 5- ja 9- vuotiaana sekä WAIS-IV:n kielellisen ymmärtämisen indeksi (VCI) ja visuaalisen päättelyn indeksi (PRI). Taustamuuttujiksi kaikkiin malleihin valittiin tutkittavien oma koulutus, äidin koulutus sekä turvapisteet 9- vuotiaana.

Analyysit suoritettiin R- ohjelmalla (versio 3.4.4). Rakenneyhtälömallit analysoitiin käyttäen Lavaan- pakettia (Rosseel, 2012). Estimointimenetelmänä käytettiin painotettua pienimmän neliösumman menetelmää (*weighted least square mean and variance adjusted*). Jokaisen mallin määrittämisen jälkeen mallin sopivuutta aineistoon testattiin fit- indeksien avulla. Käytössä olevat indeksit olivat Comparative Fit Index (CFI), Tucker Lewis index (TLI) sekä RMSEA. Jokaisesta mallista analysoitiin myös muuttujien väliset regressiokertoimet, standardoidut regressiokertoimet sekä p- arvot. Tämän lisäksi haluttiin selvittää mahdolliset mediaation vaikutukset eli säilyvätkö tilastollisesti merkitsevät yhteydet 5- vuoden ikäisistä 40- vuoden ikäisten tuloksiin, jos kontrolloitiin 9- vuoden ikäisten tulokset malleissa. Tämä tehtiin käyttäen regressioanalyysijä. Lisäksi malleista tutkittiin kokonaisselitysosuudet eli paljonko laadituissa malleissa jokaiseen muuttujaan tulevat kaikki nuolet selittävät yhdessä kyseisen muuttujan vaihtelusta.

### 3 Tulokset

Taulukossa 2. on kuvattu tässä tutkimuksessa käytettyjen tutkimusmenetelmien tulosten keskiarvot, keskihajonnat sekä minimi- ja maksimipistemäärät.

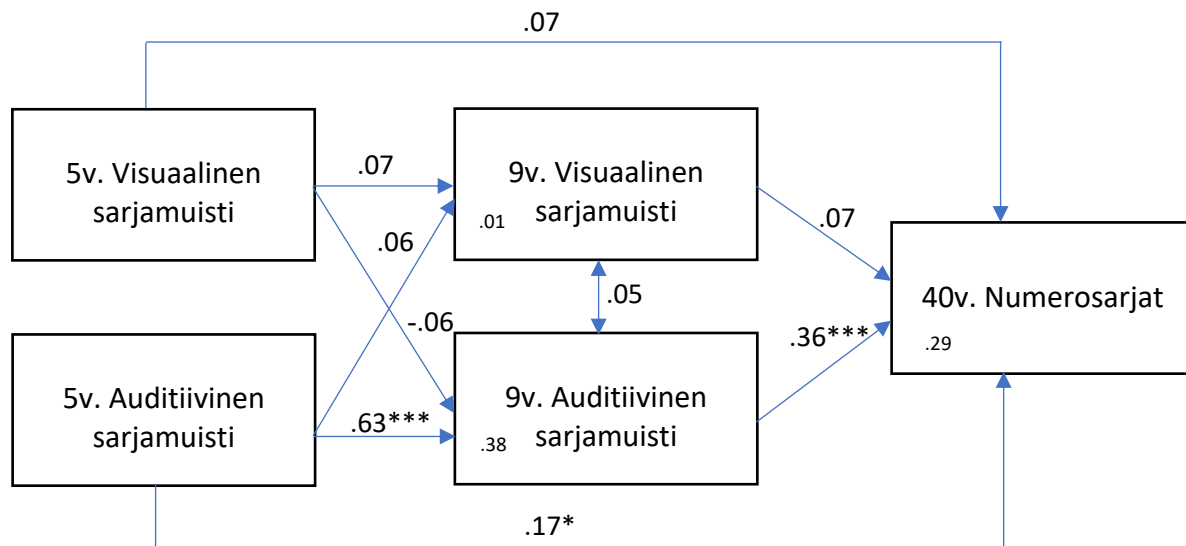
Taulukko 2. ITPA ja WAIS-IV tutkimusmenetelmien asteikko- (AP) ja standardipisteiden (SP) keskiarvot (Ka), keskihajonnat (Kh) sekä minimi- ja maksimipistemäärät.

	Ka	Kh	Min.	Max.
5 v. ITPA Visuaalinen sarjamuisti AP	36.18	6.13	14	58
5v. ITPA Auditiivinen sarjamuisti AP	35.69	5.49	19	56
9v. ITPA Visuaalinen sarjamuisti AP	35.23	5.92	19	59
9v. ITPA Auditiivinen sarjamuisti AP	35.94	5.60	26	54
40 v. WAIS-IV Numerosarjat SP	11.63	3.08	4	19
40 v. WAIS-IV Numerosarjat etuperin SP	11.08	2.90	4	19
40 v. WAIS-IV Numerosarjat takaperin SP	11.75	3.41	2	19
40 v. WAIS- IV Numerosarjat järjestyksessä SP	10.50	3.05	3	18
40 v. WAIS-IV PRI	102.76	17.60	51	142
40 v. WAIS-IV VCI	105.62	17.75	55	145

ITPA = The Illinois Test of Psycholinguistic Abilities WAIS-IV = Wechsler's Adult Intelligence Scale  
PRI = Visuaalisen päättelyn indeksi VCI = Verbaalisen päättelyn indeksi



Ensimmäinen malli kuvaa lapsuuden visuaalisen ja auditiivisen sarjajamuistien yhteyksiä työmuistiin aikuisuudessa. Sopivuusindeksien perusteella malli sopi hyvin aineistoon:  $X^2(6) = 6.42$ ,  $p = .38$ , CFI = 1.0, TLI = .99, RMSEA = .02. Mallin standardoidut regressiokertoimet, korrelaatiot, selitysosuudet ja p-arvot näkyvät kuvassa 1.

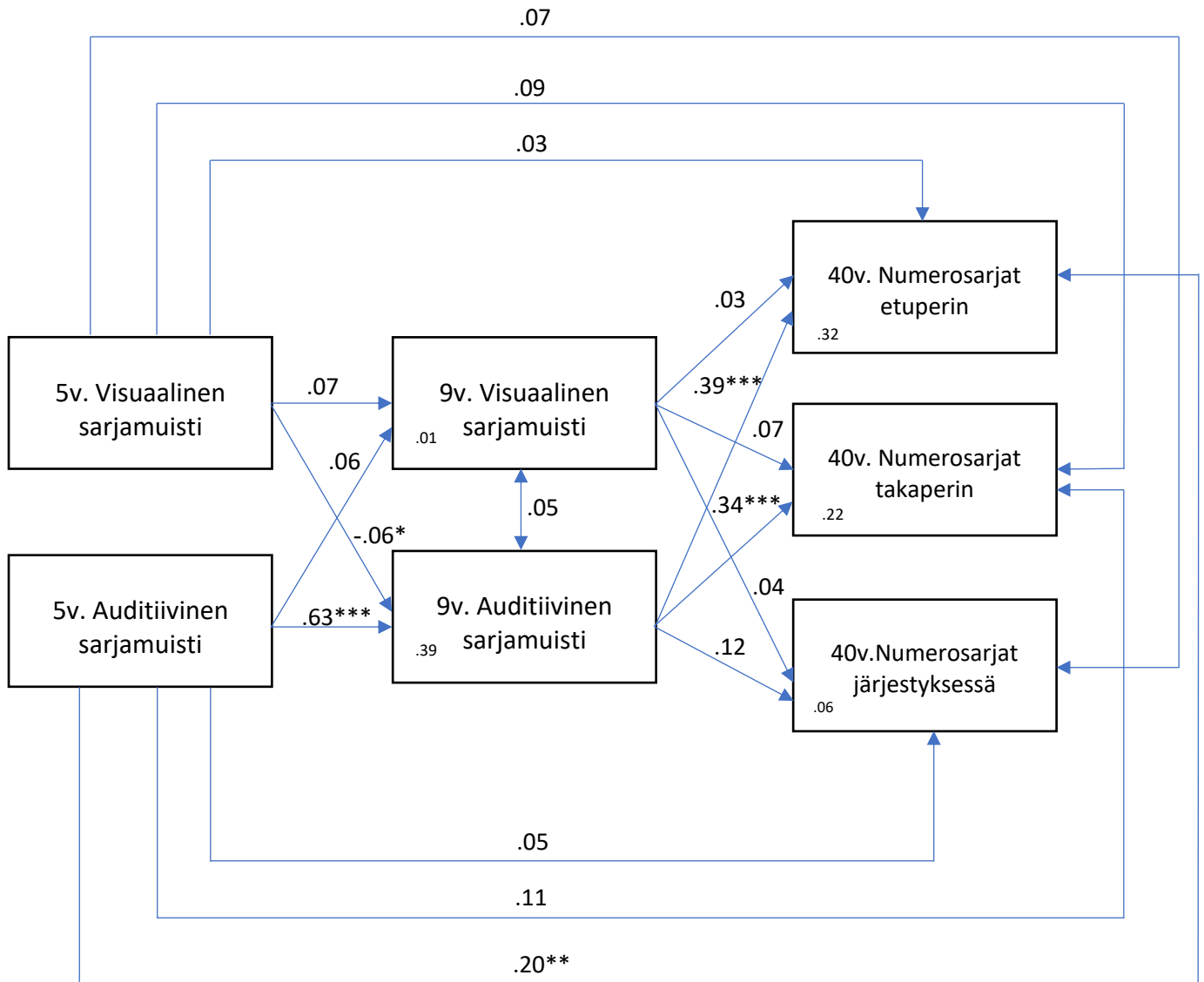


\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$

Kuva 1. Ensimmäisen mallin standardoidut regressiokertoimet, korrelaatiot ja selitysosuudet. Yksisuuntainen nuoli kuvastaa standardoitua regressiokerrointa, kaksisuuntainen nuoli korrelaatiota ja suorakulmion sisällä oleva luku kokonaisselitysosuutta. Kontrolloitu oma koulutus, äidin koulutus ja turvapisteet 9- vuotiaana.

Auditiivisen sarjajamuistin tehtävässä suoriutuminen 5- vuotiaana ennusti tilastollisesti merkitsevästi auditiivisen sarjajamuistin tehtävässä suoriutumista 9- vuotiaana. Lisäksi auditiivisen sarjajamuistin tehtävässä suoriutuminen 9- vuotiaana ennusti tilastollisesti merkitsevästi WAIS-IV:n Numerosarjat -tehtävässä suoriutumista 40- vuotiaana. 9- vuotiaana auditiivisen sarjajamuistin tehtävässä suoriutuminen ei välittänyt 5- vuotiaiden auditiivisen sekä 40- vuotiaiden Numerosarjat- tehtävässä suoriutumisen yhteyttä ( $p = .21$ ). Visuaalisen sarjajamuistin tehtävissä suoriutumisilla ei ollut tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä. Visuaalisen sarjajamuistin sekä auditiivisen sarjajamuistin tehtävässä suoriutuminen 5- vuotiaana selittivät yhdessä 38 % auditiivisesta sarjajamuistin tehtävissä suoriutumisesta 9- vuotiaana. Lisäksi auditiivisen ja visuaalisen sarjajamuistin tehtävissä suoriutumiset 5- ja 9- vuotiaana selittivät 29% Numerosarjoissa 40- vuotiaana suoriutumisen vaihtelusta.

Toinen malli kuvaa lapsuuden visuaalisen ja auditiivisen sarjajärjestelmien yhteyksiä työmuistin toimintaa mittaaviin aikuisuuden Numerosarjat- osatehtäviin etuperin, takaperin ja järjestyksessä. Sopivuusindeksien perusteella malli sopi hyvin aineistoon:  $X^2(6) = 6.42$ ,  $p = .38$ , CFI = 1.0, TLI = .99 ja RMSEA = .02. Mallin standardoidut regressiokertoimet, korrelaatiot ja selitysosuudet näkyvät kuvassa 2.



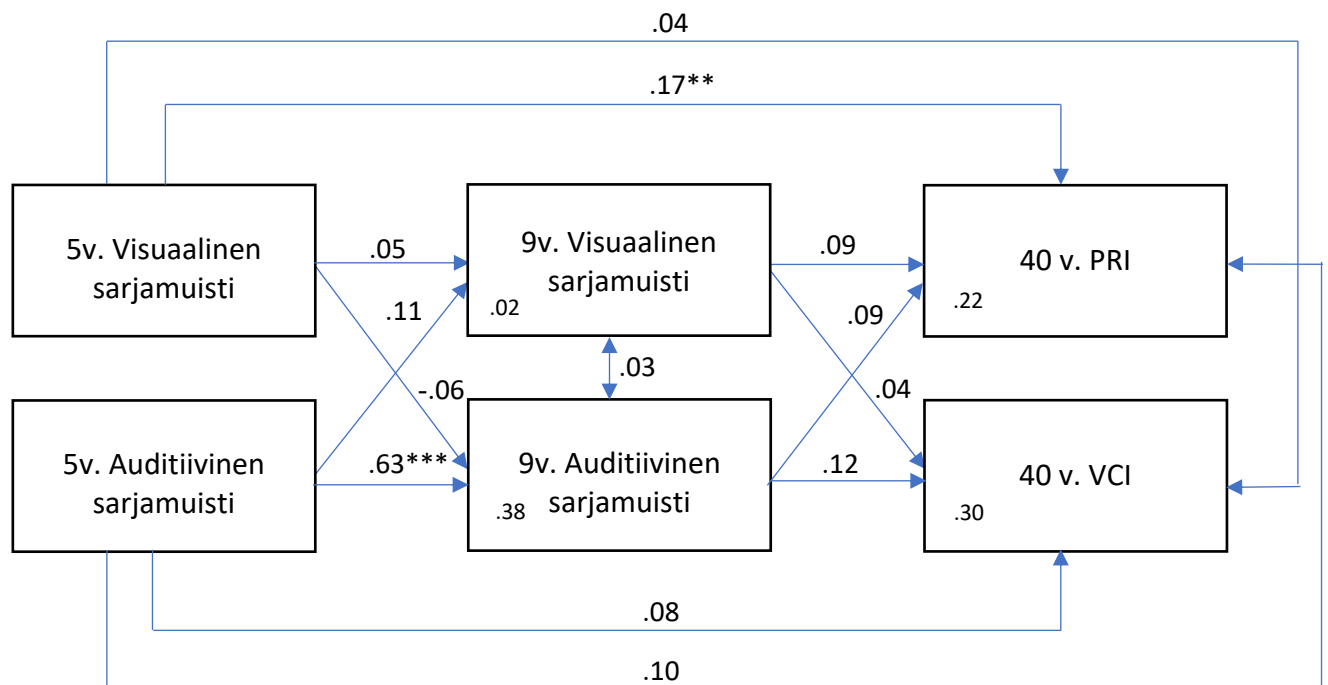
\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$

Kuva 2. Toisen mallin standardoidut regressiokertoimet, korrelaatiot, selitysosuudet ja p- arvot. Yksisuuntainen nuoli kuvastaa regressiokerrointa, kaksisuuntainen nuoli korrelaatiota ja suorakulmion sisällä oleva luku kokonaisselitysosuutta. Kontrolloitu oma koulutus, äidin koulutus ja turvapisteet 9- vuotiaana.

Auditiivisen sarjajärjestelmän tehtävässä suoriutuminen 5- vuotiaana ennusti tilastollisesti merkitsevästi auditiivisen sarjajärjestelmän tehtävässä suoriutumista 9- vuotiaana. Auditiivisen

sarjamuistin tehtävässä suoriutuminen 9- vuotiaana ennusti tilastollisesti merkitsevästi WAIS-IV:n numerosarjat etuperin ja numerosarjat takaperin- tehtävissä 40- vuotiaana. Lisäksi mediaatiovaikutuksia tutkittaessa havaittiin, että 9- vuotiaana auditiivisen sarjamuistin tehtävissä suoriutuminen ei välittänyt 5- vuotiaiden auditiivisessa sarjamuistissa suoriutumisen ja 40- vuotiaiden numerosarjat etuperin suoriutumisen yhteyttä ( $p=.39$ ). Visuaalisen sarjamuistin tehtävissä suoriutumisilla ei ollut tilastollisesti merkitseviä yhteyksiä. Visuaalisen ja auditiivisen sarjamuistin tehtävät 5- vuotiaana selittivät 39% auditiivisen sarjamuistin tehtävän vaihtelusta 9- vuotiaana. Auditiivisen ja visuaalisen sarjamuistin tehtävissä suoriutumiset 5- ja 9- vuotiaana selittivät 32% Numerosarjat etuperin osatehtävässä suoriutumisen vaihtelusta ja 22% Numerosarjat takaperin osatehtävässä suoriutumisen vaihtelusta 40- vuotiaana.

Kolmas malli kuvaa lapsuuden visuaalisen ja auditiivisen sarjamuistien yhteyksiä kielelliseen ja visuaaliseen päättelykykyyn aikuisuudessa. Sopivuusindeksien perusteella malli sopi aineistoon:  $X^2(7) = 8.77$ ,  $p = .27$ , CFI = .99, TLI = .98 ja RMSEA = .03. Mallin standardoidut regressiokertoimet, korrelaatiot ja selitysosuudet näkyvät kuvassa 3.



\* $p < .05$ , \*\* $p < .01$ , \*\*\* $p < .001$

Kuva 3. Kolmannen mallin standardoidut regressiokertoimet, korrelaatiot, selitysosuudet ja p-arvot. Yksisuuntainen nuoli kuvastaa standardoitua regressiokerrointa, kaksisuuntainen nuoli

korrelaatiota ja suorakulmion sisällä oleva luku kokonaisselitysosuutta. Kontrolloitu oma koulutus, äidin koulutus ja turvapisteet 9- vuotiaana.

Auditiivisen sarjamuistin tehtävässä suoriutuminen 5- vuotiaana ennusti tilastollisesti merkitsevästi auditiivisen sarjamuistin tehtävässä suoriutumista 9- vuotiaana. Lisäksi visuaalisen sarjamuistin tehtävässä suoriutuminen 5- vuotiaana ennusti WAIS-IV:n VCI:ssä suoriutumista 40- vuotiaana. 9- vuotiaana auditiivisen ja visuaalisen sarjamuistin tehtävistä ei ollut ollut yhteyksiä WAIS-IV indekseihin. Toisaalta auditiivisen sarjamuistin tehtävässä suoriutumisen yhteys 40- vuotiaan VCI:hin lähestyi tilastollisesti merkitsevää yhteyttä ( $p=.08$ ). Lisäksi mediaatiovaikutuksia tutkittaessa havaittiin, että 9- vuotiaana visuaalisen sarjamuistin tehtävissä suoriutuminen ei välittänyt 5- vuotiaiden visuaalisen sarjamuistin ja 40- vuotiaiden visuaalisen päättelykyvyn indeksin välistä yhteyttä ( $p=.33$ ). Visuaalisen sarjamuistin sekä auditiivisen sarjamuistin tehtävässä suoriutuminen 5- vuotiaana selittivät yhdessä 38 % auditiivisesta sarjamuistin tehtävissä suoriutumisesta 9- vuotiaana. Lisäksi auditiivisen ja visuaalisen sarjamuistin tehtävissä suoriutumiset 5- ja 9- vuotiaana selittivät 22% PRI:n vaihtelusta 40- vuotiaana.

#### **4 Pohdinta**

Tässä tutkimuksessa selvitettiin lapsuuden lyhytkestoisen muistin yhteyttä aikuisuuden työmuistisuoriutumiseen sekä miten lapsuuden lyhytkestoista muistia mittaavat tehtävät ovat yhteydessä aikuisuuden visuaaliseen ja verbaaliseen päättelykykyyn. Aikaisemmat tutkimustulokset ovat osoittaneet, että lapsuudessa työmuistin kehitys on nopeaa ja aikuisuudessa erotettavissa oleva työmuistin rakenne, jossa verbaalinen ja visuospatiaalinen prosessointi on erillistä, voidaan nähdä jo hyvin nuorilla lapsilla (Alloway, ym., 2006; Michalczyk, Malstadt, Worgt, Konen, & Hasselhorn, 2013; Nadler & Archibald, 2014). Työmuistilla on osoitettu olevan yhteys älykkyyteen ja kognitiiviseen suoriutumiseen sekä aikuisilla että lapsilla tehdyissä tutkimuksissa (Conway, ym., 2003; Jarvis & Gathercole, 2003; Kyllonen & Christal, 1990; Tillman, ym., 2008; Tillman, ym., 2009). Nyt tutkitussa aineistossa auditiivisen sarjamuistin tehtävissä suoriutumiset erikseen 5- ja 9- vuotiaana ennustivat suoriutumista WAIS- IV:n numerosarjatehtävässä 40- vuotiaana, auditiivisen sarjamuistin tehtävässä suoriutuminen 9- vuotiaana ennusti sekä Numerosarjat etuperin että Numerosarjat takaperin- osiossa suoriutumista aikuisuudessa, ja visuaalisen sarjamuistin tehtävässä suoriutuminen 5- vuotiaana ennusti suoriutumista visuaalisessa päättelykyvyssä 40 - vuotiaana.

#### **4.1 Lapsuuden lyhytkestoisen muistin yhteys aikuisuuden työmuistisuoriutumiseen**

Tässä tutkimuksessa ensimmäinen tutkimuskysymys käsitteli sitä, voidaanko lapsuuden lyhytkestoisen muistin tehtävillä suoriutumisella ennustaa aikuisuuden työmuistisuoriutumista. Saatujen tulosten perusteella auditiivisen sarjamuistin tehtävissä suoriutumiset erikseen 5- ja 9-vuotiaana ennustivat suoriutumista WAIS- IV:n numerosarjatehtävässä 40-vuotiaana. Tulokset antavat tukea sille, että lapsilla auditiivisen lyhytkestoisen muistin tehtävissä suoriutuminen ennakoisi aikuisuuden auditiivisverbaalista työmuistisuoriutumista. Aikaisemmat tutkimukset ovat pääosin käsitelleet lyhytkestoisen muistin määrällistä kehittymistä ja tiettävästi ei ole aikaisempaa pitkittäistutkimustietoa lapsuuden lyhytkestoisen muistin yhteydestä aikuisuuden työmuistisuoriutumiseen. Esimerkiksi on tutkittu, että viisivuotiaat lapset muistavat keskimäärin neljän ja puolen numeron pituisia numerosarjoja, kun taas aikuisuuden numerosarjan pituus on seitsemän (+ ja - 2) (Galotti, 2011; Schneider, 2014;) eli työmuistisuoriutuminen paranee iän mukana.

Visuaalisen sarjamuistin tehtävät 5-vuotiaana ja 9-vuotiaana eivät ennustaneet suoriutumista Numerosarjat- perusosatehtävässä 40-vuotiaana. Visuaalisen työmuistin toimintaa vaativissa tehtävissä suoriutuminen vaatii visuaalisspatiaalisten elementtien käsittelyä, joka on erillistä verbaalisen työmuistin toimintaa vaativista tehtävistä (Tillman, ym., 2008).

Numerosarjat-osatehtävä mittaa kuulonvaraisesti esitetyn materiaalin muistamista ja tiedon manipulointia, kun taas visuaalisen työmuistin tutkiminen vaatisi enemmän näönvaraisen materiaalin muistamista ja mielessä manipulointia. On myös otettava huomioon, että nuoremmat lapset nojaavat enemmän visuospatiaaliseen lehtiöön visuaalisen tiedon käsittelyssä, mikä voi selittää miksi yhteyksiä aikuisuuden auditiivisverbaalista työmuistin toimintaa kartoittavaan testiin ei ole. Vasta kuuden vuoden iässä fonologisen silmukan aktiivisuus kasvaa ja tällöin visuaalinen informaation käsittely muuttuu auditiivisverbaaliseksi työmuistissa (Gathercole & Pickering, 2000) ja 11-vuoden iässä se kehittyy aikuisuuden tasolle (Gathercole, ym., 2004).

Tutkimuksessa haluttiin lisäksi selvittää 5-vuotiaiden ja 9-vuotiaiden auditiivisen ja visuaalisen sarjamuistien tehtävissä suoriutumisten yhteydet myös erikseen Numerosarjat takaperin ja Numerosarjat järjestyksessä osioihin. Tutkittiin siis, pystyttäisiinkö monimutkaisempaa

informaation manipulaatiota edellyttämää työmuistin toimintaa ennustamaan myös yksinkertaisemmilla lyhytkestoisen muistin toimintaa kartoittavilla muistisarjatehtävillä. Aikuisuuden työmuistin toimintaa kartoitetaan tehtävillä, jossa informaatiota tulee painaa mieleen ja manipuloida esimerkiksi esittämällä se takaperin (Friso-van den Bos, ym. 2013). Lapsilla taas lyhytkestoisen muistin toimintaa mittaavassa tehtävässä informaatio toistetaan samassa järjestyksessä ja informaation manipulaatiota ei tehtävissä edellytetä.

Tutkimuksesta saatujen tulosten perusteella havaittiin, että 9- vuotiaana auditiivisessa sarjamuistitehtävässä suoriutuminen ennusti Numerosarjat etuperin sekä Numerosarjat takaperin- osiossa suoriutumista aikuisuudessa. Vaikka ITPA:n sarjamuistin tehtävässä numerosarjoja pidetään mielessä vain etuperin, voidaan tehtävillä osin ennustaa myös monimutkaisempaa työmuistin toimintaa aikuisena, jossa informaatiota manipuloidaan. Takaperin informaation esittäminen vaatii sekä tiedon ylläpitämistä mielessä, mutta lisäksi myös informaation samanaikaista manipulointia, jolloin tarvitaan keskusyksikön resursseja (Baddeley, 2010). On esitetty, että lasten keskusyksikkö kehittyy aikuisuuden tasolle 11- vuotiaana (Gathercole, ym., 2004). Tämän tutkimuksen perusteella voisi ajatella, että 9- vuotiaiden lyhytkestoisen muistin parempi kapasiteetti ennakoisi parempaa kykyä aikuisuudessa tiedon muokkaamiseen työmuistissa. Yhteyksiä 5- vuotiaan auditiivisen sarjamuistin tehtävistä ei ollut 40- vuotiaana esitettyihin Numerosarjoihin takaperin ja järjestyksessä. Tutkimuksen tulokset viittaavat siihen, että yksinkertainen auditiivinen sarjamuistitehtävä ei ennusta aikuisuuden monimutkaisempaa työmuistin toimintaa ainakaan nuoremmilla lapsilla.

#### **4.2 Lapsuuden lyhytkestoisen muistin yhteys aikuisuuden verbaaliseen ja visuaaliseen päättelykykyyn**

Kolmas tutkimuskysymys käsitteli sitä, miten auditiivisen ja visuaalisen sarjamuistin tehtävissä suoriutuminen lapsuudessa ovat yhteydessä aikuisuuden visuaaliseen ja verbaaliseen päättelykykyyn. Saatujen tulosten perusteella visuaalisen sarjamuistin tehtävässä suoriutuminen 5- vuotiaana ennusti suoriutumista visuaalisessa päättelykyvyssä 40 - vuotiaana. WAIS-IV:n visuaalisen päättelyn indeksi muodostuu osatehtävistä, joilla voidaan kartoittaa ei- kielellistä päättelyä sekä havaintojen jäsentymistä (Wechsler, 2012) ja saadut tulokset viittaavat siihen, että 5- vuotiaana visuaalisen lyhytkestoisen muistin tehtävässä suoriutuminen ennustaa korkeamman visuaalisen tiedon käsittelyä aikuisena. Esimerkiksi normaalisti kehittyneillä 7-9- vuotiailla lapsilla

(n=168) tehdyssä tutkimuksessa Baddeleyn ja Hitchin työmuistimallin visuospatiaalisen lehtiön komponentti ennusti älykkyyttä ja tarkemmin visuaalista prosessointia (Gray, Green, Alt, Hogan, Kuo, Brinkley & Cowan, 2017). ITPA:n visuaalisen sarjamuistin tehtävässä tutkittavan tulee välittömästi koota muistista geometrisia kuvioita, jolloin tarvitaan visuospatiaalisen lehtiön aktiivisuutta havaintojen jäsentämisessä. On myös huomattava, että erityisesti lapsilla joustavaa älykkyyttä tutkitaan visuospatiaalisten ongelmanratkaisutehtävien avulla ja esimerkiksi 4-vuotiailla tehdyissä tutkimuksissa havaittiin visuospatiaalisissa tehtävissä suoriutumisen selittävän joustavan älykkyyden vaihtelua (Gustafsson & Wolff, 2015).

Sen sijaan 9- vuotiaiden visuaalisen sarjamuistin tehtävissä suoriutumiset eivät olleet tässä tutkimuksessa yhteydessä visuaaliseen tai verbaaliseen päättelykykyyn aikuisuudessa. Tulos poikkeaa esimerkiksi tutkimuksesta, jossa 7- 18- vuotiailla (n=178) työmuistin nähtiin olevan yhteydessä samanaikaisesti sekä kiteytyneeseen älykkyyteen että joustavaan älykkyyteen ja myös yleiseen älykkyyteen (Tourva, Spanoudis & Demetriou, 2016). On kuitenkin huomioitava, että tutkimuksen aineisto koostui kyproslaisista lapsista ja kognitiivisia prosesseja tutkittiin ennustamalla samanaikaisesti niiden yhteyttä kiteytyneeseen ja joustavaan älykkyyteen, kun taas tässä tutkimuksessa ennustettiin aikuisuuden kognitiivista suoriutumista. Toisessa tutkimuksessa taas 9- vuotiailla visuospatiaalinen komponentti oli yhteydessä visuaaliseen prosessointiin (Gray, ym., 2017). Työmuistin kehityksen on kuitenkin todettu parantavan suoriutumista päättelykyvyn tehtävissä (Nettelbeck & Burns, 2010) ja aikuisilla WAIS- IV:n standardointitutkimuksissa visuaalisen päättelyn tehtävät korreloivat työmuistin testien kanssa (Wechsler, 2012), joten tältä osin tämän tutkimuksen tulokset eivät ole yhteneväisiä aikaisemman tutkimustiedon kanssa.

Kun vielä katsotaan 5- vuotiaiden ITPA:n visuaalisen sarjamuistin yhteyksiä ITPA:n visuaaliseen järkeilytehtävään, on korrelaatio  $r=.31$  ja 9- vuotiailla taas  $r=.10$  (Blåfield & Kuusinen, 1974). Yhteys näyttää heikentyvän lasten vanhetessa, mikä voi selittää tämän tutkimuksen tuloksia, jossa 5- vuotiaiden visuaalisen sarjamuistin tehtävissä suoriutuminen vielä ennustaa visuaalista päättelykykyä aikuisuudessa, mutta 9- vuotiaiden taas ei. Onkin tutkittu lapsilla, että keskusyksikkö ja visuospatiaalinen lehtiö ovat voimakkaammin yhteydessä toisiinsa 4-6 vuotiailla lapsilla ja lapset nojaavat visuaalisessa tiedon käsittelyssä enemmän visuaaliseen työmuistiin (Alloway, ym., 2006) kun taas 8- vuotiaat lapset visuaalista tietoa jo fonologisessa muodossa (Pickering, 2001). Tämä voi selittää, että yhteys visuaaliseen päättelykykyyn aikuisuudessa ei ole yhtä suora.

Tässä tutkimuksessa auditiivisen sarjamuistin tehtävät lapsuudessa eivät ennustaneet kielellisistä päättelykykyä 40- vuotiaana. Yhteyden puuttuminen voi liittyä siihen, että ITPA:n auditiivisen sarjamuistin tehtävässä mitataan ainoastaan verbaalisen lyhytkestoisen muistin toimintaa, kun taas WAIS-IV:n kielellisen ymmärtämisen indeksi koostuu laajemmasta kielellisen kyvykkyyden arvioinnista kuten sanatietoutta, kielellistä käsitteenmuodostamista, pitkäkestoista muistia ja kiteytynyttä älykkyyttä mittaavista osatehtävistä (Wechsler, 2012). Tällöin informaatiota ei vain ylläpidetä mielessä vaan tietoa joudutaan prosessoimaan laajalla ja abstraktilla tasolla verrattuna pelkästään ITPA:n sarjamuistitehtävään, jossa tietoa vain varastoidaan.

Tarkastellessa ITPA:n auditiivisten sarjamuistitehtävien yhteyttä ITPA:n auditiiviseen järkeilytehtävään ovat korrelaatiot 5- vuotiailla  $r=.42$  ja 9- vuotiailla  $r=.26$  eli kuten visuaalisissakin tehtävissä yhteys heikkenee iän mukana (Blåfield & Kuusinen, 1974). Tämä voisi indikoida, että yksinkertainen sarjamuistitehtävä ei ole enää yhtä vahvasti yhteydessä vanhemmilla lapsilla lapsuuden järkeilytehtävään vaan yhteys saattaisi olla vahvempi esimerkiksi aikuisuuden kielelliseen päättelykykyyn. Esimerkiksi Kielellisen ymmärtämisen indeksi sisältää kiteytyneen älykkyyden mittaamisen, joka kehittyy koulutuksen sekä kokemuksen myötä ja se kuvastaa verbaalista tietoutta ja kykyä (Cattel, 1987). Kuitenkin tämän tutkimuksen tulokset hieman eriävät tutkimuksesta, jossa lyhytkestoinen muisti että työmuisti olivat yhteydessä joustavaan ja kiteytyneeseen älykkyyteen lapsilla, joita seurattiin 7- vuotiaista 9- vuotiaiksi (Tillman, ym. 2009). Tässä tutkimuksessa kuitenkin ennustetiin aikuisuuden päättelykykyä, joten suoria johtopäätöksiä ei ole mahdollista tehdä näiden tutkimusten välillä.

Yhteyksien puuttuminen tässä tutkimuksessa voi selittyä myös muistisarjatehtävien yksinkertaisuudella, sillä yleistä älykkyyttä mittaavaat tehtävät vaativat tutkittavilta tiedon ylläpitämistä mielessä samalla kun esiintyy häiriötekijöitä, ja täten monimutkaisempaa tiedonkäsittelyä vaativat muistisarjatehtävät ennustavat paremmin esimerkiksi älykkyydosamäärää ja kielellistä ymmärtämistä (Floyd, Bergeron, & Alfonso, 2006), kun taas yksinkertaiset muistisarjatehtävät heikommin (Kane, ym., 2004). On kuitenkin myös saatu tuloksia, joiden mukaan tehtävien monimutkaisuus ei ole yhteydessä työmuistin ja älykkyyden yhteyteen ja yksinkertaista prosessointia vaativilla tehtävien versioilla voidaan saada esiin työmuistin ja joustavan älykkyyden yhteys (Salthouse & Pink, 2008). Tutkimuksessa, jossa selvitettiin joustavan



älykkyyden, lyhytkestoisen muistin, työmuistin ja toiminnanohjauksen yhteyksiä samanaikaisesti mitattuna, erityisesti lyhytkestoinen muisti oli yhteydessä joustavaan älykkyyteen 8- 12- vuotiailla (Shahabi, ym., 2014).

Tässä tutkimuksessa tuloksissa mielenkiintoa herätti se, että verbaalisen päättelykyvyn indeksin selitysosuus oli suurempi kuin visuaalisen päättelyn indeksi, vaikka mallissa ainoastaan 5-vuotiaiden visuaalisen sarjamuistin tehtävät olivat tilastollisesti merkitsevässä yhteydessä PRI:iin rakenneyhtälömallissa. Lopuksi voidaan havaita, että tämänkään tutkimuksen tulosten perusteella visuaalisen ja auditiivisen sarjamuistin tehtävissä suoriutumisen välillä ei ollut yhteyttä. Tulokset vahvistavat käsitystä, että työmuisti jakautuu kahteen erilliseen resurssiin, jossa toinen käsittelee verbaalista informaatiota ja toinen visuaalista informaatiota (Baddeley, 2000; Shah ja Miyake, 1996). Visuaalisen ja verbaalisen muistitiedon erillinen prosessointi on voitu erottaa jo 4- 5-vuotiailla lapsilla (Alloway, ym., 2006; Hornung, ym., 2011) ja 5-9 vuotiailla nähdään olevan jo aikuisten työmuistin rakenne, jossa voidaan erottaa fonologinen silmukka, visuospatiaalinen lehtiö sekä keskusyksikkö (Campos, ym., 2013; Nadler & Archibald, 2014).

#### **4.3 Tutkimuksen vahvuudet, rajoitteet ja jatkotutkimusehdotukset**

Tutkimuksen vahvuuksia olivat tutkittavien pitkäaikainen seuranta lapsuudesta aikuisuuteen. Oli siis mahdollista tutkia samojen tutkittavien kognitiivista kehitystä 40- vuoden ajalta. Toisena vahvuutena olivat tutkimuksessa käytetyt menetelmät. WAIS- IV: lla on mahdollista tutkia objektiivisesti yksilön kognition eri osa-alueita esimerkiksi lyhytkestoista muistia, visuaalista ja verbaalista päättelykykyä sekä prosessointinopeutta ja työmuistin toimintoja. Tutkimuksen vahvuutena oli myös se, että tarkasteltiin Numerosarjat- tehtävän eri osioita erikseen tutkittaessa yhteyksiä lapsuudesta aikuisuuteen. Myös ITPA:n validiteetti on korkea ja sillä voidaan mitata validisti iän myötä tapahtuvan lapsen verbaalisten kykyjen kehittymistä (Paraskevopoulos ja Kirk, 1969). Lisäksi tutkimuksessa käytetyt menetelmät ovat standardoituja menetelmiä.

Tutkimuksen rajoitteita olivat pääosin syntymäriskiryhmiin kuuluvista tutkittavista koostuva tutkimusaineisto sekä tutkittavien jääminen pois seurannasta. Tulokset eivät siksi kaikilta osilta ole välttämättä yleistettävissä terveeseen 40- vuotiaiden populaatioon. Esimerkiksi Aarnoudse-Moens, Weisglas-Kuperus, van Goudoever ja Oosterlaan (2009) tekivät 35:en tutkimuksen meta-

analyysin, jossa verrattiin alhaisen syntymäpainon ryhmiä ja täysiaikaisena syntyneiden ryhmiä akateemisessa suoriutumisessa sekä kognitiivisissa kyvyissä. Meta-analyysin tulokset osoittivat, että alhaisen syntymäpainon ryhmissä tutkittavilla oli vaikeuksia pitää informaatiota mielessä sekä vaihtaa eri mentaalisesta asetelmasta toiseen. Tässä tutkimuksessa ei analysoitu riskiryhmiä erikseen vaan tutkittiin työmuistin kehitystä yleisenä ilmiönä. Lisäksi rakenneyhtälömallien analyysit edellyttävät suurta otoskokoa. Jatkossa olisikin tutkittava, miten eri riskiryhmään kuuluminen vaikuttaa työmuistin kehitykseen. Tuloksissa on myös otettava huomioon, että useissa tutkimuksissa on ollut tutkittavina henkilöitä muualta kuin Suomesta ja tässä tutkimuksessa ITPA:n sekä WAIS-IV:n tuloksia on verrattu suomalaisiin normiaineistoihin. Esimerkiksi Iso-Britanniassa koulun aloittamisikä on viisi (Riggall ja Sharp, 2008), kun taas Suomessa seitsemän.

Työmuistin ollessa yhteydessä älykkyyteen, on tutkittu komponentteja, jotka selittävät tätä yhteyttä. Esimerkiksi yhteyksiä on tutkittu laaja-alaisesti verbaalisilla ja spatiaalisilla kognitiivisilla testeillä, joilla määriteltiin ennusteita työmuistille, lyhytkestoiselle muistille, mentaaliselle nopeudelle, tarkkaavuudelle sekä yleiselle älykkyydelle (Colom, Abad, Quiroga, Chun Shih ja Flores- Mendoza, 2008). Tulokset osoittivat, että lyhytkestoisen muistin varasto ja mentaalinen nopeus selittivät työmuistin ja älykkyyden yhteyden. Lisäksi osoitettiin, että lyhytkestoisen muistin varasto olisi pääasiallinen komponentti selitettäessä työmuistin ja älykkyyden yhteyttä.

Tutkimuksessa, jossa selvitettiin 7- ja 11- vuotiaiden lasten verbaalisen työmuistin toimintaa ja siihen yhteydessä olevia tekijöitä kuten lyhytkestoisen muistin varasto ja tarkkaavuus, havaittiin että lyhytkestoisen muistin varasto ja tarkkaavuuden kontrolloinnin tehokkuus olivat merkittävästi yhteydessä työmuistisuoriutumisen vaihteluun (Magimairaj & Montgomery, 2012). Jatkossa voisi selvittää lisää tekijöitä, jotka vaikuttavat työmuistisuoriutumisen ja kognitiivisissa testeissä suoriutumisessa väliseen yhteyteen.

#### **4.4 Yhteenveto**

Kognitiivinen kehitys alkaa jo varhain ja erityisesti lyhytkestoisen muistin ja työmuistin kehitys on merkittävää lapsuudessa. Saatujen tulosten valossa on mahdollista, että jo lapsuudessa voidaan ennustaa aikuisuuden auditiivisverbaalista työmuistisuoriutumista, mikä antaa mahdollisuuden tutkia jo varhain lasten työmuistin kehittymistä. Lapsuudessa myös visuaalisen lyhytkestoisen muistin avulla voitaisiin ennustaa aikuisuuden visuaalisessa päättelyssä suoriutumista. Jos

lapsuuden lyhytkestoisen muistin toiminnan tutkimisella voitaisiin ennustaa aikuisuuden kognitiivista suoriutumista, voitaisiin ennakoida esimerkiksi aikuisuuden mahdollisia työmuistin toiminnan heikentymisiä. On mahdollista, että harjoittelun ja tukitoimien avulla, voitaisiin parantaa lapsuudessa lyhytkestoista muistia ja vaikuttaa tällä aikuisuuden kognitiiviseen kapasiteettiin. Suurin osa tutkimuksista on tähän asti ollut poikittaistutkimuksia, joten lisää pitkittäistutkimustietoa tarvittaisiin erityisesti kognitiivisten toimintojen tutkimisen ja ennustamisen näkökulmasta lapsuudesta aikuisuuteen.

## Lähteet

Ackerman, P.L, Beier, M.E. & Boyle, M.O. (2005). Working Memory and Intelligence: The Same or Different Construct. *Psychological Bulletin*, 131:1, 30-60.

Alfonso, V.C., Flanagan, D.P. & Radwan, S. (2005). The Impact of the Cattell–Horn–Carroll Theory on Test Development and Interpretation of Cognitive and Academic Abilities. Teoksessa Flanagan, D.P. & Harrison, P.L. (toim.), *Contemporary Intellectual Assessment: Theories, Tests, and Issues (2. painos)* (s.185-202). New York, Yhdysvallat: Guilford Publications.

Alloway, T. P., Seed, T. & Tewolde, F. (2016). An investigation of cognitive overlap in working memory profiles in children with developmental disorders. *International Journal of Educational Research*, 75, 1–6.

Alloway, T., Gathercole, S. & Pickering, S. (2006). Verbal and Visuospatial Short-Term and Working Memory in Children: Are They Separable? *Child Development*, 77:6, 1698 – 1716.

Alloway, T.P & Archibald, L.M. (2008). Working memory and learning in children with developmental coordination disorder and specific language impairment. *Journal of Learning Disabilities*, 41, 251-262.

Alvarez, G.A. & Cavanagh, P. (2004). The Capacity of Visual Short-Term Memory is Set Both by Visual Information Load and by Number of Objects. *Psychological Science*, 15, 106–111.

Andersson, U. (2010). Skill development in different components of arithmetic and basic cognitive functions: Findings from a 3-year longitudinal study of children with different types of learning difficulties. *Journal of Educational Psychology*, 102:1, 115-134.

Ashkenazi, S., Rosenberg- Lee, M., Metcalfe, A.W.S., Swigart, A.G. & Menon, V. (2013). Visuo-spatial working memory is an important source of domain-general vulnerability in the development of arithmetic cognition. *Neuropsychologia*, 51:11, 2305-2317.

Atkinson, R.C. & Shiffrin, R.M. (1968). Human Memory: A Proposed System and its Control Processes. *Psychology of Learning and Motivation*, 2, 89-195.

Awh, E., Vogel, E.K. & Oh, S.-H. (2006). Interactions between attention and working memory. *Neuroscience*, 139, 201–208.

Baddeley, A. D. (2010). Working memory. *Current Biology*, 20:4, 136-140.

Baddeley, A. D., Emslie, H., Kolodny, J., & Duncan, J. (1998). Random generation and the executive control of working memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 51, 819 – 852.

Baddeley, A.D. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4:11, 417-423.

Baddeley, A.D. & Hitch, G.J. (1974). Working memory. *Psychology of Learning and Motivation*, 8, 47-89.

Benson, N., Hulac, D.M. & Kranzler, J.H. (2010). Independent Examination of the Wechsler Adult Intelligence Scale—Fourth Edition (WAIS–IV): What Does the WAIS–IV Measure? *Psychological Assessment*, 22:1, 121–130.

Blåfield, L. & Kuusinen, J. (1974). *Suomalaisen ITPA:n psykometriset ominaisuudet*. Jyväskylän yliopiston kasvatustieteiden tutkimuslaitoksen julkaisu 241.

Campos, I.S., Almeida, L.S., Ferreira, A.I. & Martinez, L.F. (2013). Working Memory as Separable Subsystems: A Study with Portuguese Primary School Children. *The Spanish Journal of Psychology*, 16, 1-10.

Carrol, J.B. (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. Cambridge: Cambridge University Press.

Cattel, R.B. (1987). *Intelligence: Its structure, growth, and action*. New York: Elsevier Science

Coalson, D.L., Raiford, S.E., Sakfolske, D.H. & Weiss, L.G. (2010). WAIS-IV: Advances in the Assessment of Intelligence. Teoksessa Weiss, L., Sakfolske, D.H., Coalson, D.L. & Raiford, S.E. (toim.), *WAIS-IV clinical use and interpretation* (s. 3-20). Lontoo: Academic Press.

Colom, R., Abad, F.J., Quiroga, M.À., Chun Shih, P. & Mendoza, C.-F. (2008). Working memory and intelligence are highly related constructs, but why? *Intelligence*, 36:6, 584-606.

Conway, A. R. A., Kane, M. J., & Engle, R. W. (2003). Working memory capacity and its relation to general intelligence. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 547-552.

Cowan, N. (1988). Evolving conceptions of memory storage, selective attention, and their mutual constraints within the human information processing system. *Psychological Bulletin*, 104, 163–191.

Cowan, N. (2005). *Working memory capacity*. Hove, East Sussex: Psychology Press.

Cowan, N. (2010). Multiple Concurrent Thoughts: The Meaning and Developmental Neuropsychology of Working Memory. *Developmental Neuropsychology*, 35:5, 447-474.

Cowan, N. & Alloway, T. (2009). Development of working memory in childhood. Teoksessa Courage, M. & Cowan, N. (toim.), *The Development of memory in infancy and childhood – Studies in Developmental psychology* (s.303- 315). New York: Psychology Press.

Demetriou, A., Spanoudis, G., Shayer, M., van der Ven, S., Brydges, C.R., Kroesbergen, E., Podjarny, G. & Swanson, H.L. (2014). Relations between speed, working memory, and intelligence from preschool to adulthood: Structural equation modeling of 14 studies. *Intelligence*, 46, 107-121.

Dempster, F. N. (1981). Memory span: Sources of individual and developmental differences. *Psychological Bulletin*, 89:1, 63-100.

Drozdzick, L.W., Holdnack, J.A., Weiss, L.G. & Zhou, X. (2013). Overview of the WAIS–IV/WMS–IV/ACS. Teoksessa Holdnack, J.A., Drozdick, Weiss, L.G. & Iverson, G. (toim.), *WAIS–IV, WMS–IV, and ACS - Advanced Clinical Interpretation* (s. 1-73). San Antonio: Pearson Assessment.

Engel de Abreu, P.M., Conway, A.R. & Gathercole, S.E. (2010). Working memory and fluid intelligence in young children. *Intelligence*, 38:6, 552-561.

Engle, R. W., Tuholski, S. W., Laughlin, J. E., & Conway, A. R. A. (1999). Working memory, short-term memory, and general fluid intelligence: A latent-variable approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 128:3, 309–331.

Engle, R.W., & Kane, M.J. (2004). Executive attention, WM capacity, and a two-factor theory of cognitive control. *Psychology of Learning and Motivation*, 44, 145–199.

Espy, K.A. & Bull, R. (2005) Inhibitory Processes in Young Children and Individual Variation in Short-Term Memory. *Developmental Neuropsychology*, 28:2, 669-688.

Floyd, R.G., Bergeron, R. & Alfonso, V.C. (2006). Cattell–Horn–Carroll cognitive ability profiles of poor comprehenders. *Reading and Writing*, 19:5, 427–456.

Friso-van den Bos, I., van der Ven, S.H.G., Kroesbergen, E.H. & van Luit, J.E.H. (2013). Working memory and mathematics in primary school children: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 10, 29–44.

Fry, A.F. & Hale, S. (1996). Processing speed, working memory, and fluid intelligence: Evidence for a developmental cascade. *Psychological Science*, 7, 237-241.

Fry, A.F. & Hale, S. (2000). Relationships among processing speed, working memory, and fluid intelligence in children. *Biological Psychology*, 54:1–3, 1-34.

Galotti, K.M. (2011). *Cognitive development- Infancy Through Adolescence* (2. painos). Singapore: SAGE Publications.

Gathercole, S. (1998). The Development of Memory. *Journal Child Psychol. Psychiat.*, 39:1, 3–27.

Gathercole, S. E. & Pickering, S. J. (2000). Assessment of working memory in six- and seven-year-old children. *Journal of Educational Psychology*, 92:2, 377-390.

Gathercole, S. E., Lamont, E. & Alloway, T. P. (2006). Working memory in the classroom. Teoksessa Pickering, S.J. (toim.), *Working memory and education* (s. 219–240). San Diego: Academic.

Gathercole, S. E., Pickering, S. J., Knight, C. & Stegmann, Z. (2004). Working memory skills and educational attainment: Evidence from national curriculum assessments at 7 and 14 years of age. *Applied Cognitive Psychology*, 18, 1–16.

Gathercole, S.E., Alloway, T.P., Willis, A.M. & Adam, A.M. (2006). Working memory in children with reading disabilities. *Journal of Experimental Child Psychology*, 93, 265-281.

Gathercole, S.E., Adams, A. & Hitch, G.J. (1997). Do young children rehearse? An individual-differences analysis. *Memory & Cognition*, 22, 201-207.

Giofr , D., Mammarella, I.C. & Cornoldi, C. (2013). The structure of working memory and how it relates to intelligence in children. *Intelligence*, 41:5, 396-406.

- Gray, S., Green, S., Alt, M., Hogan, T., Kuo, T., Brinkley, S. & Cowan, N. The structure of working memory in young children and its relation to intelligence. *Journal of Memory and Language*, 92, 183-201.
- Gustafsson, J.E. & Wolff, U. (2015). Measuring fluid intelligence at four. *Intelligence*
- Hitch, G. J., Halliday, M. S., Schaafstal, A. M. & Schraagen, J. M. C. (1988). Visual working memory in young children. *Memory and Cognition*, 16, 120–132.
- Hitch, G.J., Woodin, E. & Baker, S. (1989). Visual and phonological components of working memory in children. *Memory & Cognition*, 17:2, 175-185.
- Hoff, E. (2003). The specificity of environmental influence: Socioeconomic status affects early vocabulary development via maternal speech. *Child Development*, 74 :5, 1368–1378.
- Hoff, E. & Tian, C. (2005). Socioeconomic status and cultural influences on language. *Journal of Communication Disorders*, 38, 271–278.
- Hokkanen, L., Launes, J. & Michelsson, K. (2013). The Perinatal Adverse events and Special Trends in Cognitive Trajectory (PLASTICITY)-pre-protocol for a prospective longitudinal follow-up cohort study. *F1000Research*, 2013(2:50), 1-15. [2:50].
- Horn, J.L. & Cattell, R.B. (1967). Age differences in fluid and crystallized intelligence. *Acta Psychol.*, 26, 107-129.
- Hornung, C., Brunner, M., Reuter, R.A.P. & Martin, R. (2011). Children's working memory: Its structure and relationship to fluid intelligence. *Intelligence*, 39:4, 210-221.
- Hunt, E. (2008). Improving Intelligence: What's the Difference from Education? Teoksessa Kyllonen, P.C., Roberts, R.D. & Stankov, L. (toim.), *Extending Intelligence Enhancement and New Constructs* (s.159-195). New York: Taylor & Francis Group.



Jarvis, H. L. & Gathercole, S. E. (2003). Verbal and non-verbal working memory and achievements on national curriculum tests at 11 and 14 years of age. *Educational and Child Psychology*, 20, 123–140.

Kallio, E-L., Hokkanen, L., Hietanen, M. & Hänninen, T. (2018) Muistihäiriöt. Teoksessa Jehkonen, M., Saunamäki, T., Paavola, L. & Vilkki, J. (toim.) *Klininen neuropsykologia* (s.86-104). Helsinki: Duodecim.

Kane, M. J., Conway, A.R.A., Hambrick, D. Z. & Engle, R.W. (2007). Variation in working-memory capacity as variation in executive attention and control. Teoksessa Conway, A.R.A., Jarrold, C., Kane, M.J., Miyake, A. & Towse, J.N. (toim.), *Variation in working memory* (s. 21–48). New York: Oxford University Press.

Kane, M. J., Hambrick, D. Z., Tuholski, S. W., Wilhelm, O., Payne, T. W., & Engle, R. W. (2004). The Generality of Working Memory Capacity: A Latent-Variable Approach to Verbal and Visuospatial Memory Span and Reasoning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133:2, 189-217.

Kirk, S., McCarthy, J. & Kirk, W. (1968) *Illinois Test of Psycholinguistic Abilities*. University of Illinois.

Kuusinen, J. & Blåfield, L. (1974). *Psykolingvististen kykyjen testi ITPA. Testaajan opas*. Jyväskylän yliopiston kasvatustieteiden tutkimuslaitoksen julkaisuja 234.

Kyllonen, P. & Christal R. (1990). Reasoning Ability Is (Little More Than) Working-Memory Capacity?! *Intelligence*, 14, 389-433.

Lindahl, E., Michelsson, K., Helenius, M. & Parre, M. (1988). Neonatal risk factors and later neurodevelopmental disturbances. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 30, 571-589.

Luna, B., Garver, K.E., Urban, T.A., Lazar, N.A. & Sweeney, J.A. (2004). Maturation of Cognitive Processes from Late Childhood to Adulthood. *Child Development*, 75:5, 1357- 1372.

Magimairaj, B.M. & Montgomery, J.W. (2012). Children's verbal working memory: Relative importance of storage, general processing speed, and domain-general controlled attention. *Acta Psychologica*, 140:3, 196-207.

McCabe, D. P., Roediger, III, H. L., McDaniel, M. A., Balota, D.A. & Hambrick, D.Z. (2010). The relationship between working memory capacity and executive functioning: Evidence for a common executive attention construct. *Neuropsychology*, 24, 222–243.

McCarthy, J. J. & Olson, J. L. (1964). *Validity studies on the Illinois Test of Psycholinguistic Abilities*. Urbana: University of Illinois Press.

McGrew, K. S. (2009). CHC theory and the human cognitive abilities project: Standing on the shoulders of the giants of psychometric intelligence research. *Intelligence*, 37:1, 1–10.

Michalczyk, K., Malstadt, N., Worgt, M., Konen, T. & Hasselhorn, M. (2013). Age differences and measurement invariance of working memory in 5- to 12-year-old children. *European Journal of Psychological Assessment*, 29, 220–229.

Michelsson, K. & Noronen, M. (1983). Neurological, psychological and articulatory impairment in five-year-old children with a birthweight of 2000 g or less. *European Journal of Pediatrics*, 141, 96-100.

Michelsson, K., Ylinen, A., Saarnivaara, A. & Donner, M. (1978). Occurrence of risk factors in newborn infants. A study of 22,359 consecutive cases. *Annals of Clinical Research*, 10:6, 334–336.

Miyake, A., Friedman, N., Rettinger, D. A., Shah, P. & Hegarty, M. (2001). How are visuospatial working memory, executive functioning, and spatial abilities related? A latent-variable analysis. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 621–640.

Nadler, R.T. & Archibald, L.M.D. (2014). The Assessment of Verbal and Visuospatial Working Memory with School Age Canadian Children. *Canadian Journal of Speech-Language Pathology and Audiology*, 38:3, 262-279.

Nettelbeck, T. & Burns, N.R. (2010). Processing speed, working memory and reasoning ability from childhood to old age. *Personality and Individual Differences*, 48:4, 379-384.

Nevo, E. & Breznitz, Z. (2013). The development of working memory from kindergarten to first grade in children with different decoding skills. *Journal of Experimental Child Psychology*, 114, 217-228.

Ostrovsky- Solís, F. & Lozano, A. (2006). Digit Span: Effect of education and culture. *International Journal of Psychology*, 41:5, 333–341.

Paraskevopoulos, J.N. & Kirk, S.A. (1969). *The development and psychometric characteristics of The Revised Illinois Test of Psycholinguistic Abilities*. Urbana: University of Illinois Press.

Pickering, S. J., Gathercole, S. E. & Peaker, S. H. (1998). Verbal and visuospatial short-term memory in children: Evidence for common and distinct mechanisms. *Memory and Cognition*, 26, 1117–1130.

Pickering, S.J. (2001). The development of visuo-spatial working memory. *Memory*, 9, 423-432.

Poutanen, O., Koivisto, A.-M., Kääriä, S. & Salokangas, R.K.R. (2010). The validity of the Depression Scale (DEPS) to assess the severity of depression in primary care patients. *Family Practice*, 27:5, 527–534.

Reynolds, C. R. (1997). Forward and backward memory span should not be combined for clinical analysis. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 12:1, 29–40.

Riggall, A. & Sharp, C. (2008). *The Structure of Primary Education: England and Other Countries*. Cambridge: Primary Review.

Ritchie, S.J. & Tucker -Drob, E.M. (2018). How Much Does Education Improve Intelligence? A Meta-Analysis. *Psychological Science*, 29:8, 1358–1369.

Rosseel, Y. (2012). Lavaan: An R Package for Structural Equation Modeling. *Journal of Statistical Software*, 48(2), 1-36. <http://www.jstatsoft.org/v48/i02/>.

Sabol, T. J. & Pianta, R. C. (2012). Patterns of school readiness forecast achievement and socioemotional development at the end of elementary school. *Child Development*, 83, 282–299.

Salthouse, T. A. & Pink, J. E. (2008). Why is working memory related to intelligence? *Psychonomic Bulletin and Review*, 15:2, 364–371.

Schneider W. (2015) The Role of Basic Memory Capacities and Working Memory. Teoksessa Springer, C. (toim.), *Memory Development from Early Childhood Through Emerging Adulthood* (s.131-181). Sveitsi: Springer International Publishing.

Schneider, W. (2014). Working Memory and Its Relevance for Cognitive Development. Teoksessa Schneider, W., Schumann-Hengsteler, R. & Sodian, B. (toim.) *Young Children's Cognitive Development Interrelationships Among Executive Functioning, Working Memory, Verbal Ability, and Theory of Mind* (s. 8-38). New York: Psychology Press.

Schneider, W., Wolke, D., Schlagmuller, M., & Meyer, R. (2004). Pathways to school achievement in very preterm and full-term children. *European Journal of Psychology of Education*, 19, 385–406.

Shah, P. & Miyake, A. (1996). The separability of working memory resources for spatial thinking and language processing: An individual differences approach. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125, 4–27.

Shahabi, S.R., Abad, F.J. & Colom, R. (2014). Short-term storage is a stable predictor of fluid intelligence whereas working memory capacity and executive function are not: A comprehensive study with Iranian schoolchildren. *Intelligence*, 44, 134-141.

Simmering, V. (2012). The development of visual working memory capacity during early childhood. *Journal of Experimental Child Psychology*, 111:4, 695-707.

Spearman, C. (1904). "General Intelligence," objectively determined and measured. *The American Journal of Psychology*, 15:2, 201-292.

Swanson, H. L. (2005). Working memory, intelligence and learning disabilities. Teoksessa Wilhelm, O. & Engle. R.W. (toim.), *Understanding and measuring intelligence* (s. 409–429). Lontoo: Sage.

Thorndike, R.M. (1990). Origins of Intelligence and its Measurement. *Journal of Psychoeducational Assessment*, 8:3, 223-230.

Tillman, C.M., Bohlin, G., Sorensen, L. & Lundersvold, A.J. (2009). Intelligence and Specific Cognitive Abilities in Children. *Journal of Individual Differences*, 30:4, 209-219.

Tillman, C.M., Nyberg, L. & Bohlin, G. (2008). Working memory components and intelligence in children. *Intelligence*, 36:5, 394-402.

Tourva, A., Spanoudis, G. & Demetriou, A. (2016). Cognitive correlates of developing intelligence: The contribution of working memory, processing speed and attention. *Intelligence*, 54, 136–146.

Towse, J. & Cowan, N. (2005). Working Memory and Its Relevance for Cognitive Development. Teoksessa Schneider, W., Schumann- Hensteler, R. & Sodian, B. (toim.), *Young Children's Cognitive Development: Interrelationships Among Executive Functioning, Working Memory, Verbal Ability, and Theory of Mind* (s. 9-34). New York. NY: Psychology Press

Tulsky, D. S., Saklofske, D. H., Chelune, G. J., Heaton, R. K., Ivnik, R. J., Bornstein, R., Prifitera, A., & Ledbetter, M. F. (2003). *Clinical Interpretation of the WAIS-III and WMS-III*. San Diego: Academic Press.

Vanderbroucke, L., Verschueren, K., Desoete, A., Aunio, P., Ghesquiére, P. & Baeyens, D. (2018). Crossing the bridge to elementary school: The development of children's working memory components in relation to teacher-student relationships and academic achievement. *Early Childhood Research Quarterly*, 42, 1-10.

Wechsler, D. (1950). Cognitive, conative, and non-intellective intelligence. *American Psychologist*, 5:3, 78-83.

Wechsler, D. (2012). Wechsler Adult Intelligence Scale: Fourth Edition (WAIS-IV) [Finnish version] [Measurement instrument]. Helsinki: Psykologien Kustannus oy.